


SIGILLUM ACADEMIAE HARVARDIANAE IN NOV ANG
CHRISTO ET ECCLESIAE
VE RI TAS

TRAVAUX & MÉMOIRES

DE

L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME VI



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898

TABLE DES MATIÈRES DU TOME VI

Mémoire N° 19. — R. Swyngedauw : *Étude expérimentale et théorique de la décharge dérivée d'un condensateur.*

Mémoire N° 20. — G. Lefèvre : *Les variations de Guillaume de Champeaux et la question des Universaux : Étude suivie de documents originaux.*

Mémoire N° 21. — C. Eg. Bertrand : *Les Charbons humiques et les Charbons de purins.*

UNIVERSITÉ DE FRANCE

TRAVAUX & MÉMOIRES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME VI. — Mémoire N° 19.

R. SWYNGEDAUW. — Étude expérimentale et théorique de la décharge dérivée d'un condensateur.



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898

EN VENTE

A LILLE, à la Librairie Générale, rue Faidherbe, 11 et 13.

A PARIS, chez Gauthier-Villars et Fils, 55, quai des Gds-Augustins.

UNIVERSITÉ DE FRANCE

TRAVAUX & MÉMOIRES

DE

L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME VI. — MÉMOIRE N° 19.

R. SWYNGEDAUW. — ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET THÉORIQUE DE LA DÉCHARGE DÉRIVÉE D'UN CONDENSATEUR.



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898

Le Conseil de l'Université de Lille a ordonné l'impression de ce mémoire, le 27 avril 1898.

L'impression a été achevée, chez Le Bigot Frères, *le 14 juin 1898.*

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET THÉORIQUE

DE LA

DÉCHARGE DÉRIVÉE D'UN CONDENSATEUR

PAR

R. SWYNGEDAUW

TRAVAUX ET MÉMOIRES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME VI. — MÉMOIRE N° 19.



LILLE

AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET THÉORIQUE

DE LA

DÉCHARGE DÉRIVÉE D'UN CONDENSATEUR

PAR

R. SWYNGEDAUW

Considérons un condensateur dont les armatures sont réunies par un fil conducteur, présentant une interruption I qui sera, par exemple, formée par les deux boules d'un excitateur (Fig. 1).

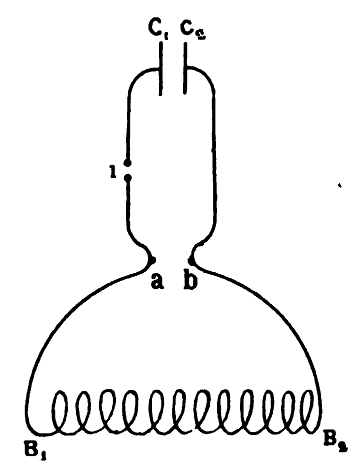


Fig. 1.

Si les pôles de l'excitateur sont suffisamment rapprochés. quand on charge le condensateur par une machine électrostatique, il arrive un moment où une étincelle éclate à l'interruption et le condensateur se décharge à travers le fil.

Si deux points *a b* du fil comprenant une certaine longueur de conducteur sont suffisamment rapprochés, on constate que toutes les fois qu'une étincelle éclate en I, on observe en même temps une étincelle entre *a* et *b*.

L'étincelle qui éclate en I est la cause de celle qui jaillit en *a b*.

J'appellerai la première, une décharge *principale* du condensateur; la seconde, une décharge *dérivée.*

La première est une décharge de conducteurs en équilibre électrostatique, la seconde une décharge entre deux points d'un circuit parcouru par une décharge.

L'étude de la décharge dérivée comprend deux questions différentes :

1° Quelles sont les conditions initiales de la décharge dérivée ?

2° Comment se partage la décharge entre les deux dérivations créées par l'étincelle dérivée ?

Nous avons traité la première dans un précédent mémoire (1); nous nous contenterons ici d'examiner la seconde.

(1) *Les Potentiels explosifs statique et dynamique.* — Thèses de la Faculté des Sciences de Paris (1897).

CHAPITRE I

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Au point de vue expérimental, il ne peut être question ici de déterminer *à chaque instant* de la décharge, la valeur du courant dans les deux dérivations : ce problème serait d'une complication extraordinaire. Dans la pratique, on se borne à la comparaison des effets mesurables, produits par une décharge complète ou une série de décharges identiques dans les deux dérivations. On étudiera, par exemple, le dégagement de chaleur par des méthodes thermométriques sensibles, ou la quantité totale d'électricité qui passe dans chaque dérivation et pour chaque décharge par le galvanomètre balistique. Nous nous occuperons uniquement dans ce travail de la quantité totale d'électricité qui traverse les deux dérivations.

§ I. — HISTORIQUE

Cette question a été traitée sous des noms divers par plusieurs physiciens ; les travaux d'Edlund, de ses partisans et de ses contradicteurs « *sur la force contre-électromotrice de l'étincelle électrique, sur les courants de disjonction* » trai-

tent de ce problème avec des préoccupations théoriques que nous rappellerons bientôt.

Edlund publia en 1868 ses premiers résultats sur la force contre-électromotrice de l'étincelle (1). Il fut amené à ce travail par des recherches antérieures sur la force électromotrice de l'arc voltaïque (2). D'après Edlund le travail absorbé par la détérioration des pôles entre lesquels jaillit l'arc voltaïque crée une force électromotrice en sens inverse du courant. Or, lorsqu'une étincelle éclate entre deux boules métalliques une détérioration des surfaces se produit, cette comparaison de l'arc et de l'étincelle conduisit Edlund à penser qu'une force électromotrice de sens contraire au courant principal prend naissance dans l'étincelle. Pour bien marquer que cette force électromotrice avait son origine dans la *détérioration* des pôles, il appela les courants qui en résultent *courants de disjonction* « Disjunctions-Ströme » (3).

Pour démontrer cette force contre-électromotrice de l'étincelle, Edlund fait l'expérience suivante (4) représentée par la figure ci-contre.

A B est une machine de Holtz munie de ses condensateurs, *a* et *b* en sont les pôles. En face de l'un des pôles *b* on place une sphère *d* qu'on réunit métalliquement au pôle *a* par un fil *a d* comprenant la bobine d'un galvanomètre G et un rhéostat *e m*. Sur le circuit *a d*, on jette une dérivation interrompue *c e*, dont l'interruption est formée par le champ intrapolaire d'un excitateur de pôles *f g*; la dérivation continue *c e* comprend le galvanomètre et le rhéostat.

Le circuit est complètement isolé et les diverses spires de

(1) Edlund. Pogg. Ann., t. 134, p. 337. Experimenteller Beweis dass der elektrische Funke elektromotorisch ist.

(2) Edlund. Pogg. Ann., t. 131, p. 586 et t. 134, p. 250.

(3) Edlund. Pogg. Ann., t. 139, p. 353.

(4) Edlund. Pogg. Ann., t. 134, p. 337.

la bobine du galvanomètre sont soigneusement isolées à la gutta.

Lorsque la machine de Holtz fonctionne, si les distances *b d* et *f g* sont convenables, des étincelles éclatent uniquement en *b d* ou simultanément en *b d* et *f g*; le galvanomètre dévie. Si la rotation de la machine est uniforme, et si les étincelles éclatent rapidement aux excitateurs, l'aiguille du galvanomètre oscille autour d'une position moyenne.

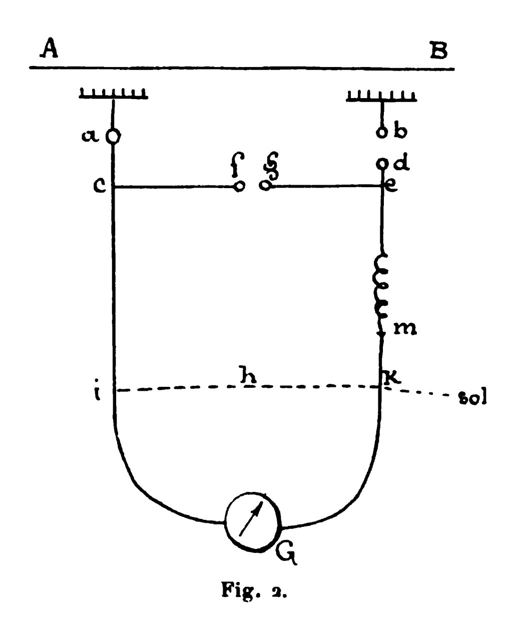


Fig. 2.

On constate en même temps que le galvanomètre s'électrise ; pour éviter cet inconvénient. Edlund jette sur le galvanomètre une dérivation continue *i h k* en communication avec le sol en *k*.

Cette dérivation n'aurait pour effet que de diminuer la déviation galvanométrique.

Lorsque les étincelles éclatent en *b d* seulement, la charge totale des condensateurs de la machine traverse le galvanomètre (abstraction faite de la déviation *i h k*) ; lorsque les

étincelles éclatent simultanément en *b d* et *f g*, on pouvait s'attendre à une déviation galvanométrique plus faible. Edlund constata au contraire que lorsqu'on rapprochait les pôles *f g* dè façon que chaque étincelle qui éclatait en *b d* fût accompagnée d'une étincelle en *f g*, la déviation galvanométrique augmentait par le fait, dans des proportions considérables et pouvait atteindre 15 ou 20 fois la déviation première. Edlund explique cette augmentation paradoxale de la charge dérivée en admettant la production d'une force contre-électromotrice dans l'étincelle qui, agissant en sens inverse du courant principal dans la déviation interrompue, agit dans le même sens que ce courant dans le circuit galvanométrique.

Edlund développa cette opinion dans une série de mémoires (1) où il s'attache en outre à démontrer que les résultats ne peuvent s'expliquer par les courants d'induction dans la bobine du galvanomètre.

Quoi qu'il en soit, l'hypothèse d'une force contre-électromotrice de l'étincelle si puissante sembla très compliquée et inacceptable pour beaucoup de physiciens. M. G. Wiedemann. dans son Traité d'Électricité, attribue les faits observés par Edlund uniquement à l'induction de la bobine galvanométrique, sans chercher toutefois à démontrer cette idée par l'expérience.

M. E. Lecher (2) développe la manière de voir de M. G. Wiedemann et combat vigoureusement l'explication d'Edlund : il rapporte certaines expériences (expérience 4, par exemple), difficilement conciliables avec l'idée d'une force contre-électromotrice de l'étincelle de grandeur appréciable. Il attribue la

(1) Expérimenteller Beweis, etc., loc. cit. Ueber den Gang elektrischer Inductions-und Disjunctions-Ströme durch Gase von verschiedener Dichticgkeit und zwischen Polen von verschiedener Form — Pogg. Ann., t 139, p. 353. Untersuchungen über die elektromotorische Kraft des elektrischen Funkens — Wied. Ann., t 28, p. 560.

(2) Ueber Edlund's Disjunctions-Ströme. — Sitz. Ber. der Akad. der Wiss. zu Wien. — 2te Abt. 1887. t. 95, p. 626.

déviation paradoxale observée par Edlund, à la présence du shunt *ihk* (voir Fig. 2). Les expériences de M. Lecher se font avec un galvanomètre d'une résistance de 930 ohms; les étincelles éclatent assez rapidement et régulièrement aux excitateurs de façon que la déviation du galvanomètre reste sensiblement constante.

Je fus amené à reprendre les expériences d'Edlund par la lecture de travaux d'un genre très différent et la comparaison de deux affirmations contradictoires de MM. Lodge et Bjerkness.

M. Lodge publia une série d'expériences (1) curieuses sur les décharges latérales des bouteilles de Leyde, en vue de les appliquer à la théorie des paratonnerres. Ces expériences devinrent rapidement célèbres par leurs résultats inattendus. Cependant la démonstration, ou plutôt la comparaison théorique que l'auteur en faisait, laissait parfois à désirer.

Dans le compte-rendu de ces expériences, on trouve cette affirmation qui ne s'appuie sur aucune mesure directe : Lorsqu'une étincelle éclate entre deux points d'un conducteur traversé par la décharge, la plus grande partie de la charge du condensateur passe par l'étincelle plutôt que par la dérivation continue, si la self-induction de cette dernière est assez grande. A priori cela n'a rien d'absurde, si on admet que la résistance de l'étincelle pendant la décharge est très petite, par rapport à la résistance du conducteur continu.

Dans un travail sur l'amortissement des oscillations d'un excitateur de Hertz, M. Bjerkness (2) admet que la couche d'air traversée par l'étincelle, offre toujours une résistance très grande par rapport à la résistance de la partie continue.

(1) Ces mémoires sont réunis en un volume publié sous ce titre : O. Lodge. Lightning conductors and Lightning guards. — London, Wittaker et C°, 1892.

(2) Bjerkness. Ueber die Dampfung schneller elektrischer Schwingungen (Wied. Ann., t. 44, 1891, p 83).

Si l'on considère l'étincelle comme un conducteur ordinaire, il y a contradiction entre ces deux affirmations. Le partage d'une décharge entre deux dérivations conductrices, se fait toujours en raison inverse des résistances, quelle que soit la self-induction des conducteurs.

Ces considérations m'amenèrent à contrôler la proposition de M. Lodge, en mesurant directement les charges qui traversaient les dérivations continues et l'étincelle dérivée par le galvanomètre balistique.

§ II. — EXPÉRIENCES PERSONNELLES

La disposition générale des expériences est la même que celle d'Edlund, le dispositif le plus usité est le suivant (Fig. 3).

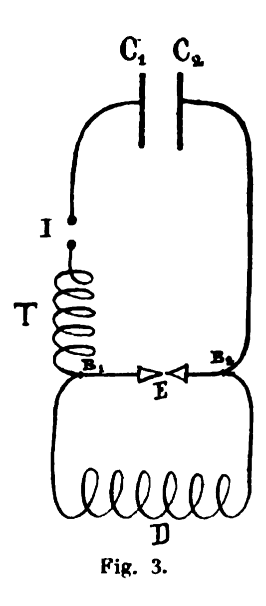


Fig. 3.

Le condensateur d'armatures C_1 C_2 est chargé par une machine de Holtz. Le conducteur qui réunit les deux armatures

présente : 1° une interruption formée d'un excitateur I ; 2° une bobine T traversée par la charge totale du condensateur et que j'appellerai *bobine totale* ; 3° une bifurcation dont l'une des branches est une bobine D, que j'appellerai bobine dérivée ; l'autre branche est formée par un excitateur E, dont le champ intra-polaire représente l'interruption ; 4° le second point de bifurcation est réuni à la seconde armature des condensateurs par un fil conducteur de 1 mètre de long environ.

Le condensateur était formé d'une batterie de deux jarres d'une capacité totale de 0,01 microfarad.

Les bobines T et D sont presque identiques, elles sont construites en fil de cuivre de $\frac{8}{10}$ de millimètre, recouvert d'une couche de gutta et de coton ; elles sont formées de 10 tours de spires comprenant chacun 16 spires. Chaque tour de spires est isolé du suivant par une couche de paraffine de 1^{mm} d'épaisseur environ qu'on applique liquide et qu'on laisse ensuite se solidifier. Le premier tour de spires a environ 2 cm. de diamètre, le dernier 10 centimètres. L'une des extrémités de la bobine perce l'une des bases en bois de la bobine au niveau du premier tour de spire, c'est-à-dire au voisinage de l'axe de la bobine ; l'autre extrémité perce la même base de la bobine au niveau du dernier tour de spires. La bobine se prolonge ainsi à l'extérieur par deux fils de 60 à 80 centimètres de long. Construites de cette manière les bobines peuvent être traversées par des décharges de condensateurs chargés à des potentiels d'une centaine d'unités électrostatiques C G S. On vérifie les bobines avant de les employer ; on s'assure que pendant la décharge il n'éclate pas d'étincelles entre deux spires voisines.

L'excitateur I est formé par des sphères en laiton de 2 cm. de diamètre.

L'excitateur E est formé par des fils de platine soudés sur cuivre, noyés dans le verre, et dont on a découvert les extrémités au moyen d'un trait de lime ; on les fabrique de

la manière suivante. On soude deux fils de platine de $0^{mm}4$ de diamètre et de 4 centimètres de long aux pointes en cuivre de l'excitateur universel ; on effile un tube de verre de diamètre convenable pour que les pointes de cuivre y puissent entrer jusqu'à la moitié ; la longueur du tube de verre est telle que le fil de platine pénètre dans la partie effilée du tube de verre préalablement préparé. On fond le verre qui entoure le fil au chalumeau, et, pendant que le verre est encore bien rouge, on coupe aux ciseaux le fil et la gaîne de verre qui l'entoure. Quand l'objet a repris la température ambiante on lime le bout de fil qui dépasse le verre jusqu'à ce que la surface terminale du fil soit exactement au niveau du verre qui l'entoure ; quand l'excitateur a servi pendant un certain temps, la chaleur de l'étincelle a fondu une certaine partie du verre ; on lime de nouveau la pointe qui dépasse l'isolant. Cette usure est lente. On verra plus loin la raison de cette forme particulière d'excitateur.

Pour mesurer le rapport des quantités d'électricité qui traversent les bobines totale ou dérivée, on place les bobines T ou D séparément ou simultanément sur le support d'un galvanomètre Wiedemann d'Arsonval, dont on a enlevé l'aimant-directeur et l'amortisseur en cuivre. Pour abréger la durée des oscillations on entoure l'aiguille du galvanomètre d'un tube de verre vertical et se terminant en haut et en bas dans des bouchons de liège fixés à l'instrument ; un anneau de cuivre peut glisser le long du tube et amortir plus ou moins rapidement les oscillations, suivant qu'il est à la partie supérieure du tube de verre au niveau de l'aimant mobile, ou à la partie inférieure à 8 centimètres environ. On soulève l'anneau de cuivre en tirant sur un fil, fixé d'un côté à la partie supérieure fixe du galvanomètre et se divisant en deux brins passant aux deux oreillons diamétralement opposés de l'anneau, puis se relevant verticalement pour venir passer sur le même

appui fixe du galvanomètre, et se terminer à 1^m30 de là par un contrepoids capable de maintenir l'amortisseur en équilibre et placé à la portée de l'observateur.

On mesure les impulsions de l'aimant mobile au moyen de la méthode objective, sur une échelle divisée en millimètres, placée à 1^m20 du miroir.

Les bobines T et D sont fixées sur le support du galvanomètre, sur des tiges de verre passant dans leur axe, et supportées elles-mêmes par des appuis en bois. Les spires de la bobine sont dans le plan du méridien magnétique.

Marche d'une expérience. — Pour faire une expérience, on abaisse l'amortisseur en relevant le contrepoids; on attend que l'aimant mobile du galvanomètre soit en équilibre, l'image du repère réfléchi sur le miroir du galvanomètre est alors au zéro de l'échelle. On tourne la machine de Holtz; on en sépare les pôles, le condensateur se charge. Lorsque la différence de potentiel des armatures est suffisante pour qu'une étincelle éclate en I, le condensateur se décharge. On note la première élongation maximum de l'aiguille; on ferme la machine de Holtz sur elle-même et on relève l'amortisseur au niveau de l'aimant en baissant le contrepoids. Il se passe plusieurs minutes avant que l'aimant du galvanomètre revienne au repos; deux étincelles successives à l'excitateur principal I sont donc séparées par un intervalle de plusieurs minutes.

Notre méthode diffère de celle de MM. Edlund et Lecher, en ce que nous mesurons l'effet produit par chaque étincelle, tandis que ces derniers mesuraient l'effet moyen produit par un grand nombre d'étincelles, se succédant à raison de plusieurs par seconde.

MM. Edlund et Lecher mesuraient une déviation; nous mesurons une impulsion.

Irrégularité du phénomène. — La méthode que nous avons suivie théoriquement, équivalente à la méthode d'Edlund et de Lecher, présente au point de vue pratique des difficultés très considérables, si on prend pour excitateur dérivé E un excitateur quelconque, à boules par exemple.

Si la distance explosive dérivée est telle que chaque étincelle principale provoque une étincelle dérivée, en mettant la bobine dérivée D à l'électromètre, on constate que deux étincelles successives sont loin d'être identiques. Par exemple, si, dans une première expérience, l'impulsion du galvanomètre correspond à 20 divisions de l'échelle, dans l'expérience suivante, l'impulsion sera de 4 divisions ; une troisième expérience donnera une impulsion de 10 divisions et ainsi de suite, et cependant rien ne se trouve changé en apparence, les distances explosives principale et dérivée sont restées les mêmes, et les bobines n'ont pas changé de place.

Lorsque les étincelles se succèdent très rapidement, ces impulsions produisent une déviation sensiblement constante au galvanomètre : toutes ces étincelles, toutes différentes l'une de l'autre, produisent néanmoins un effet moyen sensiblement constant.

En opérant avec des excitateurs dérivés quelconques, la méthode de la déviation est applicable : la méthode de l'impulsion ne peut donner aucun renseignement certain. Il faut remarquer aussi que les résultats fournis par la méthode de la déviation perdent également de leur valeur comme se rapportant à une moyenne d'effets pouvant différer considérablement entre eux plutôt qu'à l'un d'entre eux. Il était désirable même pour l'emploi de la méthode de la déviation, et il était indispensable pour l'emploi de la méthode d'impulsion, de régulariser le phénomène.

Régularisation des expériences. — Je rapportai d'abord

l'irrégularité des expériences à un défaut d'isolation des spires de la bobine; en effet, si des étincelles éclatent entre les spires, l'action de la bobine sur l'aimant peut différer notablement d'une expérience à l'autre. Je vérifiai les bobines comme il a été dit, en m'assurant : 1° qu'il n'éclatait point d'étincelles visibles dans l'obscurité quand on la faisait traverser par la décharge employée; 2° qu'en faisant traverser chaque bobine par la charge totale (en la prenant comme bobine totale, par exemple), on observait pour plusieurs étincelles successives, toujours la même impulsion au galvanomètre.

Ce dernier fait m'apprit en outre, que la perturbation ne résidait ni dans la bobine, ni dans l'excitateur principal; je fus conduit à porter mon attention sur l'observation de l'étincelle dérivée.

Je ne tardai pas à remarquer que les étincelles dérivées n'étaient pas identiques et n'éclataient pas toujours entre les mêmes points; je me servis d'abord d'un excitateur dérivé formé de deux sphères, je pris ensuite un excitateur formé d'une pointe et d'un plan. Cet excitateur me montra bien que les diverses étincelles n'éclatent pas entre les mêmes points; sur le plan poli, on trouve la trace des étincelles, sous forme d'une petite tache terne. Cette observation me conduisit à prendre deux pointes; les irrégularités n'étant pas encore disparues, je me proposai de trouver un excitateur ne présentant que deux points, entre lesquels les étincelles pourraient éclater.

Un excitateur, dont les surfaces polaires en regard sont recouvertes d'un isolant solide, excepté en deux points, résout ce problème. J'ai pris d'abord des pôles sphériques que je plongeais dans la paraffine fondue, par leurs surfaces polaires; il suffisait ensuite de percer la paraffine solidifiée d'un trou étroit découvrant le métal. La paraffine étant brûlée par l'étin-

celle, je la remplaçai par du soufre, mais les pôles sphériques ne me donnèrent pas encore la régularité que je désirais.

Je remplaçai les sphères par des pointes de cuivre plongées dans du soufre fondu; les pointes étaient découvertes par un trait de lime; le phénomène se régularisait d'abord puis présentait de nouveau des irrégularités que j'attribuais au sulfure de cuivre qui se déposait sous l'action de l'étincelle sur la pointe. Afin d'éviter ce dernier inconvénient, je fus conduit à construire l'excitateur à pointes de platine, noyées dans le verre sur toute leur surface latérale, cet excitateur a été décrit plus haut, p. 11. Cet excitateur donne des résultats réguliers ne différant pas de $\frac{1}{10}$ pour les faibles distances explosives dérivées ; les résultats sont plus irréguliers, ils peuvent différer de $\frac{1}{3}$, quand la distance explosive dérivée est voisine de la distance critique.

Interprétation des expériences. — Si la bobine T est seule au galvanomètre, et la bobine D à une distance suffisante pour qu'elle n'exerce plus aucune action sur l'aimant, l'impulsion est proportionnelle à la charge totale du condensateur Q_T.

Si la bobine D est seule au galvanomètre et la bobine T éloignée, l'impulsion est proportionnelle à la charge qui traverse la bobine dérivée Q_D.

La différence $Q_T - Q_D$ représente la charge qui traverse l'interruption dérivée E. Si les bobines T et D sont placées simultanément au galvanomètre et de façon que leurs actions sur l'aimant se contrarient au point de s'annuler, quand les deux bobines sont traversées par la même charge ; l'impulsion du galvanomètre est proportionnelle à la différence $(Q_T - Q_D)$, entre les charges totale et dérivée traversant les bobines T et D ; l'aiguille est projetée d'un côté si la charge totale est supérieure à la charge dérivée ; elle est projetée de l'autre côté si la charge dérivée est plus grande que la charge totale.

On a employé les deux méthodes et obtenu les résultats suivants :

Résultats I. — Lorsqu'on laisse la distance explosive I *constante, la quantité d'électricité qui traverse la bobine dérivée croît d'une façon continue avec la distance explosive de l'excitateur dérivé* E, *d'abord suivant une loi sensiblement proportionnelle, puis d'une manière de plus en plus rapide à mesure qu'on approche de la distance critique.*

II. — Lorsque la distance explosive E *dépasse une certaine valeur* δ, *la quantité d'électricité qui traverse la bobine dérivée est plus grande que la charge totale.*

On retrouve le résultat paradoxal d'Edlund.

Ces résultats sont loin de confirmer la proposition de M. Lodge.

Ces énoncés se rapportent à la charge qui traverse la dérivation continue; on en déduirait facilement les énoncés relatifs à l'étincelle dérivée.

Voici deux séries d'expériences démontrant ces propositions :

1° Bobine dérivée seule au galvanomètre :

$$I = 0^{c},5$$

Distances explosives E	0	$0^{c},125$	$0^{c},22$	$0^{c},275$	$0^{c},3$
Impulsions.	inappréciable	+ 8	+ 12	+ 16	+ 50

Quand la distance explosive E dépasse $0^{c},3$, l'étincelle dérivée n'éclate plus en E, la charge totale traverse la bobine dérivée, on obtient une impulsion constante de 12 divisions à à chaque étincelle principale.

L'impulsion est inappréciable quand E = 0, parce que la résistance métallique de l'excitateur dérivé est très petite, par rapport à celle de la bobine dérivée, de sorte que cette dernière est traversée par une charge inappréciable.

Quand $I = 0^c,5$ et $E = 0^c,22$ $Q_D = Q_T$

Lorsque $I = 0^c,5$ et $E = 0^c,3$,

la bobine dérivée est traversée par une charge quatre fois plus forte que la charge totale de la batterie.

2° Galvanomètre différentiel en équilibre quand la même charge traverse les deux bobines placées simultanément au galvanomètre :

$$I = 0^c,75$$

Distances explosives E	0	$0^c,2$	$0^c,35$	$0^c,5$	$0^c,625$
Impulsions.	+ 16	+ 8	0	— 13	— 180

Quand $E > 0^c,625$ l'étincelle dérivée n'éclate plus, le galvanomètre reste en équilibre pendant la décharge.

Si $E = 0$, la bobine dérivée n'étant traversée par aucun courant, l'impulsion observée correspond à la charge totale du condensateur.

Si $E = d = 0,35$ $Q_D = Q_T$

Si $E = 0^c,625$. la quantité d'électricité qui traverse la bobine dérivée est plus de dix fois plus grande que la charge totale du condensateur.

On voit en outre que si I croît, d augmente aussi; en effet, pour $I = 0,5$, $d = 0,22$; $I = 0,75$, $d = 0,3$.

CHAPITRE II

ÉTUDE THÉORIQUE

Quelle est l'explication des faits que nous venons de constater? Trois idées théoriques sont en présence, fondées :

1° Sur l'idée d'une force électromotrice de l'étincelle ;

2° Sur le rôle de soupape électrique joué par l'étincelle dérivée ;

3° Sur les lois générales de l'induction.

1° *Force électromotrice de l'étincelle.*

Cette idée, féconde un moment entre les mains d'Edlund, était trop vague pour ne pas devenir stérile. Elle ne constitue pas, à proprement parler, une théorie ; elle ne rend compte que de ce seul fait, l'exagération paradoxale de la charge dérivée ; elle ne montre aucune relation précise entre la charge qui traverse la bobine dérivée et la variation des diverses constantes du circuit, distances explosives, nature et pression des gaz en lesquels les étincelles éclatent, résistances, self-induction des bobines, etc.

M. E. Lecher l'a réfutée dans un mémoire intéressant (1) ;

(1) E. Lecher. Loc. cit., p. 8

je crois que cette idée est abandonnée par la très grande majorité des physiciens.

2° *Soupape électrique*

Edlund démontre dans un de ses mémoires (1) le rôle de soupape électrique joué par l'étincelle dérivée pour les courants d'induction de sens contraire qui prennent naissance par la fermeture et l'ouverture du circuit *d m G c f g d* (Fig. 2) par le début et la fin de l'étincelle dérivée ; il n'abandonne pas toutefois son explication par la force électromotrice de l'étincelle.

Sur les conseils de M. Lippmann. j'ai cherché si l'augmentation de la charge dérivée n'était pas due exclusivement au rôle de soupape électrique joué par l'excitateur dérivé pour les courants oscillatoires de la décharge.

La soupape électrique telle qu'on la décrit habituellement se compose essentiellement d'un excitateur dont les pôles sont dyssymétriques ; elle possède cette propriété de se laisser traverser plus facilement par le courant dans un sens que dans l'autre, soit par exemple un excitateur dérivé dyssymétrique formé d'une grosse sphère et d'une petite placée dans le dispositif dont nous nous servons fig. 4.

Si l'excitateur E laisse passer plus facilement les courants dirigés dans le sens de la flèche *f*, on peut expliquer très simplement la multiplication de la charge dérivée si la décharge est oscillatoire.

Traçons dans ce cas, la courbe de l'intensité du courant en fonction du temps ; en portant les temps en abscisses et les intensités en ordonnées, cette courbe a la forme connue. Supposons que l'excitateur E laisse passer plus facilement les courants positifs et, pour simplifier le raisonnement, supposons que E laisse passer totalement le courant positif dirigé suivant a

(1) Pogg. Ann., t. 136, p. 367 et Pogg. Ann., t. 139, p. 369 et suivantes.

flèche *f*, et arrête complètement le courant négatif de sens contraire. La quantité d'électricité, qui traverse le circuit, est représentée par l'aire comprise entre les sinuosités et l'axe des temps, comptée positivement, si l'ordonnée est positive, négativement si l'ordonnée est négative.

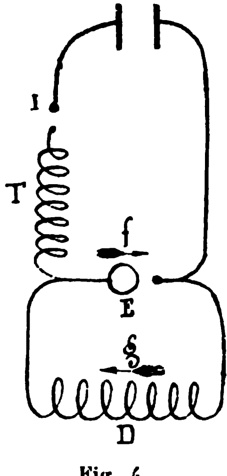


Fig. 4.

Avec un excitateur dérivé formant soupape électrique parfaite, on voit que la soupape sera traversée par la quantité d'électricité représentée par la somme des aires des boucles positives, tandis que la bobine dérivée sera parcourue par la quantité d'électricité représentée par la somme des aires négatives, et le courant sera dirigé dans le sens de la flèche *g* dans la bobine D.

Or, on sait que, dans une décharge oscillatoire peu amortie, l'aire de la première boucle représente à peu près le double de la charge totale ; il est aisé de comprendre d'après cela que la charge qui traverse la bobine dérivée soit notablement plus grande que la charge totale, la somme des aires négatives pouvant dépasser notablement la $\frac{1}{2}$ aire de la première boucle ; mais il faut se demander si cette explication est admissible.

Le sens dans lequel l'excitateur dérivé se laisse traverser le plus facilement par le courant est déterminé uniquement par la forme de l'excitateur : dans l'excitateur dyssymétrique considéré, le sens de facile passage est, par exemple, dirigé de la grosse boule vers la petite. Cette propriété fondamentale des soupapes électriques permet de contrôler la théorie précédente par l'expérience. Répétons les expériences sous la forme décrite page 13 ; en changeant uniquement l'excitateur dérivé bout pour bout, le sens de facile passage qui était primitivement pour les courants qui parcourent le circuit principal dans le sens $C_1 I E C_2$ sera cette fois pour les courants de sens inverse, parcourant le circuit principal dans le sens $C_2 E I C_1$; on voit dès lors que la quantité d'électricité qui traverse la bobine dérivée est représentée par la somme des aires positives, le courant est dirigé dans cette bobine en sens inverse de la flèche *g*, le galvanomètre doit donc indiquer une multiplication de la charge dérivée, mais *une déviation contraire à la première.*

Donc, *si l'excitateur dérivé joue le rôle d'une soupape électrique, en intervertissant uniquement les pôles de l'excitateur dérivé, on change le sens du courant dans la bobine dérivée.*

De même en changeant le signe de l'électrisation des armatures, *on ne doit pas changer le sens de la déviation galvanométrique.*

Ces conclusions *sont contredites* par l'expérience, en particulier quand on retourne bout pour bout l'excitateur dérivé, sans rien changer aux autres parties de l'appareil, l'expérience montre que l'impulsion ne change pas de sens, mais sa grandeur est légèrement altérée de $\frac{1}{20}$ par exemple, dans un sens ou dans l'autre ; nous expliquerons ce fait plus loin.

Nous pouvons donc conclure ce chapitre contrairement à Edlund. *L'excitateur dérivé ne joue pas le rôle de soupape électrique.*

Les expériences qui avaient conduit Edlund à soutenir l'opi-

nion contraire, consistaient à changer la forme du circuit de décharge : 1° en permutant la position des résistances ou des bobines dans les deux dérivations interrompue et continue (1) : 2° en introduisant, puis supprimant des bobines ou des résistances dans les dérivations conductrice et continue (2).

Ces expériences démontrent uniquement l'influence de la forme et de la résistance du circuit sur la décharge dérivée et semblent montrer qu'il faut chercher l'explication de ces phénomènes dans les lois générales de l'induction.

3° *Théorie fondée sur les lois de l'induction.*

G. Wiedemann (3) avait émis cette idée qu'il fallait chercher l'explication des expériences d'Edlund dans les lois de l'induction. M. E. Lecher (4) montra que les faits observés pouvaient mieux s'expliquer par les extra-courants de fermeture et de rupture à l'excitateur dérivé que par l'hypothèse d'une force électromotrice de l'étincelle. On n'avait pas encore songé à appliquer mathématiquement les lois générales de l'induction aux décharges dérivées des condensateurs. Nous allons traiter ce problème en faisant des hypothèses analogues à celles que l'on fait dans la théorie de la décharge d'un condensateur dans un circuit conducteur donné par W. Thomson.

Considérons une bouteille de Leyde dont les armatures sont réunies par un circuit bon conducteur interrompu par le champ intrapolaire d'un excitateur (Fig. 1) : lorsqu'une étincelle éclate à l'excitateur, la couche d'air de l'interruption, dont la résistance est infinie avant la décharge, acquiert rapidement,

(1) Pogg. Ann., t. 139, p. 369 et suivantes.
(2) Pogg. Ann., t. 136, p. 337 et suivantes.
(3) G. Wiedemann, loc. cit. p. 8.
(4) E. Lecher, loc. cit. p. 8.

par suite de l'échauffement, une résistance comparable aux résistances métalliques.

Cette proposition n'est pas une simple hypothèse ; les expériences bien connues de Riess sur l'énergie des condensateurs en donnent la preuve.

En effet, ce fait que le dégagement de chaleur dans l'étincelle est très petit par rapport à la chaleur dégagée dans un fil métallique d'une résistance de quelques ohms, traversé par le même courant, nous montre que la résistance moyenne de l'étincelle pendant la décharge est très petite par rapport à la résistance du fil.

La résistance de l'étincelle acquiert cette résistance très petite, en un temps très court par rapport à la durée totale de la décharge, car s'il en était autrement, comme elle est extrêmement grande par rapport à la résistance métallique, dans les premiers instants de la décharge, la quantité de chaleur dégagée dans l'étincelle serait comparable à la chaleur dégagée dans le fil.

Une étincelle produite dans les conditions décrites est un trait lumineux très brillant : la résistance étant une propriété physique de la matière ; nous admettrons que les étincelles brillantes ont une résistance moyenne comparable aux résistances métalliques de mêmes dimensions que l'étincelle.

L'étincelle dérivée, qui éclate dans la décharge des condensateurs que nous employons, satisfait aux conditions précédemment définies. Nous nous proposons de chercher ce qui se passe dans la décharge dérivée du condensateur (Voir page 10), à partir de l'instant où toutes les résistances peuvent être considérées comme des constantes.

En traitant le problème complètement, on obtient un système d'équations linéaires simultanées, à coefficients constants, dont la solution ne donne pas immédiatement l'explication des phénomènes observés.

On obtient une solution approchée, beaucoup plus simple et plus rapide, en ne tenant compte que de l'induction propre de chacun des circuits partiels sur lui-même. Au point de vue expérimental, on peut d'ailleurs s'approcher autant que l'on veut de ce cas spécial, en éloignant les bobines totale et dérivée l'une de l'autre et de l'excitateur dérivé.

Désignons par V_1 le potentiel de l'armature C_1, V_2 le potentiel de l'armature C_2, V_1' et V_2' les potentiels aux points de bifurcation B_1 et B_2.

Soient R_1 et L_1 la résistance et le coefficient de self-inducteur de la branche C_1 B_1 qui comprend la bobine totale T, soit I_1, le courant qui parcourt cette branche.

Soient r_1 et l_1, la résistance et la self-induction de la bobine dérivée, i_1 le courant qui la parcourt; r_2 et l_2, la résistance et la self-induction de la déviation interrompue, i_2 le courant qui la traverse; R_2 et L_2 la résistance et la self-induction de la branche B_2 C_2 ; I_2 le courant qui la parcourt.

Les courants seront comptés positivement de C_1 vers C_2 ; ils sont supposés uniformes, le temps t est compté à partir de l'instant où les résistances peuvent être considérées comme des constantes.

La première loi de Kirchhoff, appliquée aux points de bifurcation B_1 et B_2 donne :

$$(1) \quad I_1 = i_1 + i_2$$

ou si on désigne par I le courant total I_1 ou I_2

$$(1') \quad I = i_1 + i_2$$

En appliquant les lois de l'induction aux diverses branches. on obtient pour C_1 I B_1 :

$$(2) \quad R_1 I + L_1 \frac{dI}{dt} = V_1 - V_1'$$

pour B_1 D B_2 :

$$(3) \quad r_1\, i_1 + l_1 \frac{di_1}{dt} = V_1' - V_2'$$

pour B_1 E B_2

$$(4) \quad r_2\, i_2 + l_2 \frac{di_2}{dt} = V_1' - V_2'$$

pour B_2 C_2

$$(5) \quad R_2\, I + L_2 \frac{dI}{dt} = V_2' - V_2$$

Ajoutons, membre à membre, les équations (2), (3), (5), il vient :

$$(6) \quad (R_1 + R_2)\, I + (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt} + r_1\, i_1 + l_1 \frac{di_1}{dt} = V_1 - V_2$$

Ajoutons, membre à membre, les équations (2), (4) et (5), on obtient :

$$(7) \quad (R_1 + R_2)\, I + (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt} + r_2\, i_2 + l_2 \frac{di_2}{dt} = V_1 - V_2$$

Si on tient compte de l'équation (1), l'équation (7) devient (7') :

$$(7') \quad (R_1 + R_2 + r_2)\, I + (L_1 + L_2 + l_2) \frac{dI}{dt} - r_2\, i_1 - l_2 \frac{di_1}{dt} = V_1 - V_2$$

Dans nos expériences, la dérivation B_1 E B_2 se compose uniquement d'un excitateur d'une vingtaine de centimètres de long : l_2 est donc négligeable devant L_1 self-induction de la bobine totale et par suite négligeable devant $L_1 + L_2$; la résistance r_2 est très petite par rapport à la résistance $R_1 + R_2$, d'après les considérations précédentes : en tenant compte de ces particularités, l'équation (7') devient :

$$(7'') \quad (R_1 + R_2)\, I + (L_1 + L_2) \frac{dI}{dt} - r_2\, i_1 - l_2 \frac{di_1}{dt} = V_1 - V_2.$$

Retranchons l'équation (7'') de l'équation (6) on obtient :

$$(8) \quad (r_1 + r_2)\, i_1 + (l_1 + l_2)\, \frac{di_1}{dt} = o$$

dont l'intégrale générale est

$$(9) \quad i_1 = i_0\, e^{-\frac{r_1 + r_2}{l_1 + l_2} t}$$

formule dans laquelle i_0 représente l'intensité du courant, dans la bobine dérivée à l'origine du temps. c'est-à-dire à l'instant à partir duquel les résistances peuvent être considérées comme des constantes et e la base des logarithmes népériens.

Si maintenant on suppose r_2 négligeable devant r_1 et l_2 négligeable devant l_1, ce que nos expériences permettent, l'équation (8) devient :

$$(8') \quad r_1\, i_1 + l_1\, \frac{di_1}{dt} = o$$

et si on tient compte de cette équation (8′) dans l'équation (6) on obtient :

$$(10) \quad (R_1 + R_2)\, I + (L_1 + L_2)\, \frac{dI}{dt} = V_1 - V_2.$$

Les équations (1′), (8) et (10) donnent les lois du partage du courant de décharge, à un instant quelconque de la décharge postérieure à l'origine du temps et pour une branche quelconque du circuit de décharge.

Donc à partir de l'instant où les résistances des étincelles principale et dérivée ne subissent que des variations très petites, par rapport à la résistance des bobines.

1° Le courant de la bobine dérivée décroît sans changer de signe, suivant une loi exponentielle (9) *rappelant l'extra-courant de rupture.*

2° Le courant, dans le circuit total, est indépendant du circuit dérivé ; il suit les lois de la décharge du condensateur dans un circuit simple, formé du circuit précédent dont on aurait supprimé la bobine et l'excitateur dérivés, et dont

les points de bifurcation B_1 B_2 seraient réunis par un conducteur de résistance et self-induction négligeables.

Si donc, comme c'est le cas dans nos expériences, la résistance est inférieure à la résistance critique d'oscillation, pendant que *le courant dans la bobine dérivée décroît sans changer de sens*, la bobine totale est le *siège de courants oscillatoires.*

Si nous supposons que les résistances deviennent constantes pendant la première période d'oscillation simple, le courant dans les diverses branches du circuit peut se représenter par les courbes suivantes dont les ordonnées représentent les intensités, et les abscisses, les temps (fig. 5).

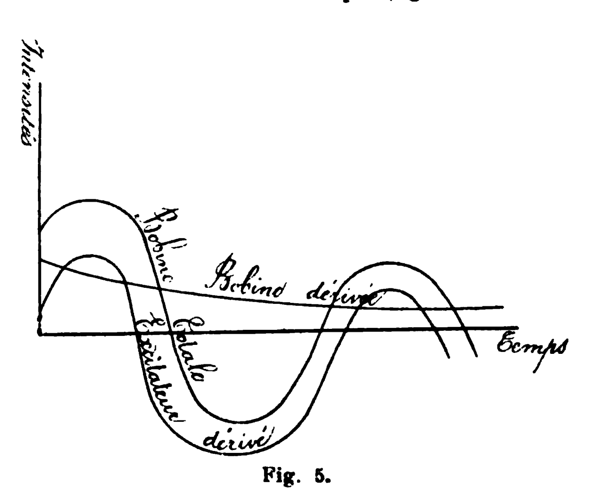


Fig. 5.

La courbe relative à l'excitateur dérivé s'obtient en retranchant l'ordonnée relative à la bobine dérivée de l'ordonnée représentant le courant dans la bobine totale.

On voit que les zéros de la courbe de l'excitateur dérivé ne sont pas équidistants et que les maxima de la valeur absolue de l'intensité sont plus considérables que ceux du courant total. La fig. 7 représente les courbes de l'intensité dans le cas où la direction principale est continue.

Vérifications. — On sait que, lorsqu'une batterie se décharge à travers un circuit très résistant, l'étincelle est peu colorée et produit un bruit étouffé : si la résistance diminue l'étincelle devient plus bruyante : lorsque la résistance est très faible, l'étincelle produit un bruit clair en même temps qu'elle devient plus lumineuse ; on attribue ce changement de son aux oscillations du courant ; plus les oscillations sont amples et rapides, plus le bruit de l'étincelle est intense et clair.

M. Lodge a signalé dans ses expériences (1) ce fait que l'étincelle principale produit un bruit mat si elle n'est pas accompagnée d'une étincelle dérivée ; elle produit un son clair quand elle provoque une étincelle dérivée. On constate très bien ces faits dans nos expériences. Or, nous avons vu que suivant que l'étincelle dérivée existe ou n'existe pas tout se passe comme si la décharge s'effectuait dans un circuit comprenant une ou deux bobines, ou si les deux bobines sont égales, dans un circuit de self-induction variant du simple au double. La capacité restant la même, la période d'oscillation varie comme $\sqrt{2}$; d'autre part les variations de l'intensité du courant sont plus grandes dans l'étincelle dérivée. Les résultats de la théorie expliquent par conséquent le changement de son constaté par l'expérience, mais c'est là une vérification très grossière.

2° Il nous faut montrer maintenant que la théorie précédente explique la *multiplication paradoxale de la charge dérivée*, découverte par Edlund, contestée par Lecher et rétablie de nouveau par nos expériences personnelles.

Cette théorie suppose essentiellement la décharge oscillatoire. En effet la charge totale qui traverse un circuit quelconque étant représentée par l'aire comprise entre la courbe et l'axe des temps, la multiplication de la charge dérivée est *impossible*, si la décharge du condensateur dans le circuit principal

(1) Lodge, Loc. cit. p. 9.

n'est pas oscillatoire, la figure 7 le montre clairement. On le montre expérimentalement en plaçant une résistance de sulfate de cuivre dans le circuit principal.

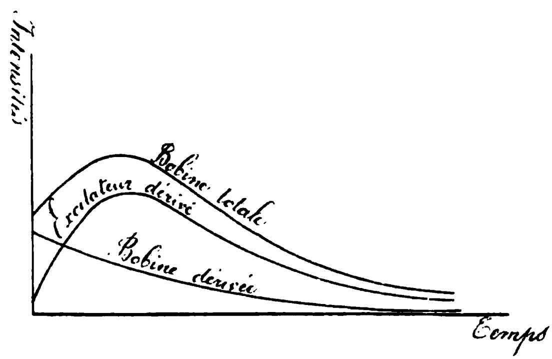


Fig. 7.

La méthode graphique permet de donner une idée de la multiplication dans le cas de la décharge oscillatoire : on conçoit en effet que l'aire embrassée par la courbe de la bobine dérivée puisse être beaucoup plus considérable que la $\frac{1}{2}$ aire de la première boucle qui représente à peu près la charge totale.

Mais on peut mieux rendre compte du phénomène par le calcul direct.

La charge Q_D, qui traverse la bobine dérivée à partir de l'instant où les résistances deviennent constantes, est représentée par l'intégrale $\int_0^\infty idt$, où i est donné par l'équation (9). Si on désigne par l la self-induction $l_1 + l_2$ par r la résistance $r_1 + r_2$, du circuit formé par les deux dérivations la charge dérivée est $\int_0^\infty i_0 e^{-\frac{r}{l}t} dt$

c'est-à-dire :

$$(11) \quad Q_D = \frac{l}{r} i_0$$

La valeur i_0 du courant, dans la bobine dérivée, est supposée comprise entre o et la valeur du maximum du courant dans la bobine totale.

Or, si on suppose que l'équation de Thomson est applicable, l'intensité dans le circuit total est donnée par la formule :

$$(12)\quad I = n\, Q_0\, e^{-mt} \sin.nt$$

Q_0 étant la charge primitive du condensateur, n le produit par 2π du nombre p d'oscillations doubles par seconde $m = \frac{R}{2L}$

Si on néglige l'amortissement de la première oscillation, le premier maximum de l'intensité est :

$$(13)\quad I_m = n\, Q_0.$$

Calculons d'abord la charge qui traverserait la bobine derivée si l'intensité initiale, au lieu d'être i_0, était I_m ; il nous sera facile ensuite de trouver la valeur i_0, exprimée en fonction de I_m, qui rendrait la chárge dérivée 10 fois plus grande que la charge du condensateur.

Avec une intensité intiale I_m la bobine dérivée serait traversée par une charge.

$$(14)\quad Q_D = \frac{l}{r}\, n\, Q_0$$

Évaluons le facteur $f = \frac{l}{r}\, n$ pour nos expériences et les expériences d'Edlund en fonction de quantités facilement mesurables, on a :

$$n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

dans nos expériences $l = L$, par suite :

$$f = \frac{\sqrt{l}}{r\sqrt{C}}$$

si $r = 1$ohm environ, $C = 10^{-8}$ farad., $l = 10^{-3}$ quadrant environ.

$$f = 316$$

il suffit par conséquent que i_0 soit la $\frac{1}{31.6}$ partie du courant

maximum I_m pour que la bobine dérivée soit traversée par une charge dix fois plus grande que la charge totale de la batterie.

Dans les expériences d'Edlund, le condensateur est formé par les bouteilles en cascade de la machine de Holtz : le circuit dérivé a une très faible self-induction et une faible résistance, par suite de la dérivation jetée sur le galvanomètre. Le circuit principal a une très faible self-induction, de sorte que si nous admettons l'égalité $l = L$, on trouve encore, en admettant en outre que la durée des oscillations est de $\frac{1}{100.000}$ de seconde, que f est notablement plus grand que dans nos expériences.

Enfin, il nous reste à montrer comment M. Lecher n'a pas observé la multiplication de la charge dérivée quand son galvanomètre n'était pas shunté.

Dans ses expériences, le circuit total est analogue à celui d'Edlund, mais le circuit dérivé continu est formé d'un galvanomètre à grande résistance (930 ohms) (1).

La formule (11) nous montre que la décharge dérivée est proportionnelle à la self-induction et inversement proportionnelle à la résistance de la bobine dérivée, on conçoit donc que, puisque la résistance de la dérivation de M. Lecher est plus de mille fois plus grande que celle d'Edlund, si la self-induction n'a pas augmenté dans la même proportion, la décharge dérivée, observée par M. Lecher, soit notablement inférieure à la décharge constatée par Edlund ; d'ailleurs, la distance explosive dérivée de Lecher n'était peut-être pas la même que celle d'Edlund, ni assez grande pour que l'on puisse observer la multiplication de la décharge dérivée : en effet, dans certaines expériences (1), si $l = 10$ mm., il prend pour E de 1 à 3 mm.

(1) Lecher, loc. cit., p. 8.

D'autre part, l'expérience montre qu'en plaçant, dans la dérivation continue de la bobine dérivée, une colonne de sulfate de cuivre de quelques centimètres de long sur un cm^2 de section, on n'observe plus aucune multiplication.

4° Nous avons démontré (2) que l'intensité du courant et la différence de potentiel entre les deux pôles de l'excitateur dérivé sont des fonctions croissantes du temps dans les premiers instants de la décharge et avant qu'une étincelle dérivée ne se produise à cet excitateur. On peut donc dire également que l'intensité du courant au moment où l'étincelle éclate à l'excitateur dérivé est une fonction croissante de la différence de potentiel aux premiers instants de la décharge; on conçoit que i_0 précédemment définie soit d'autant plus grande que l'intensité est plus grande au moment où l'étincelle éclate; donc la décharge dérivée, qui est proportionnelle à i_0, croît avec le potentiel explosif et par suite la distance explosive de l'excitateur dérivé. Pour un même excitateur dérivé, on conçoit donc que la décharge dérivée varie si on change son potentiel explosif en intervertissant le signe de la charge comme nous l'avons constaté page 22.

On peut démontrer par l'expérience qu'à la distance explosive dérivée maximum, pour laquelle on peut observer une étincelle dérivée, l'étincelle éclate quand la différence de potentiel entre les pôles de l'excitateur dérivé est maximum, et dans ce cas, la vitesse de variation du courant $\frac{di}{dt}$ est voisine du maximum (3).

Donc, à deux valeurs très voisines du potentiel maximum correspondent deux valeurs relativement très différentes de l'intensité initiale ; on conçoit par suite que les irrégularités constatées dans la décharge dérivée aillent en croissant avec la vitesse de

(1) Lecher. Loc. p. 15.
(2) C. R. 16 juillet 1894.
(3) Thèse, p. 10.

variation $\frac{di}{dt}$, c'est-à-dire avec l'intensité et la différence de potentiel. (1)

Les expériences d'Edlund (2) sur la variation de la charge dérivée avec la forme des pôles et l'atmosphère gazeuse s'expliquent de la même manière.

En résumé, la théorie que nous venons d'exposer a rendu compte d'un grand nombre de faits déjà acquis ; elle a permis d'en prévoir de nouveaux que l'expérience a vérifiés.

(1) Voir page 16.
(2) Pogg. Ann. t. 139, p. 353.

LILLE. — IMPRIMERIE LE BIGOT FRÈRES.

TRAVAUX ET MÉMOIRES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME I

N° 1. — P. PAINLEVÉ : *Transformations des fonctions* V (*x, y, z*) qui *satisfont à l'équation* $\Delta V = 0$. 1 fr. 75

N° 2. — P. DUHEM : *Des corps diamagnétiques.* 3 fr. 50

N° 3. — P. FABRE : LE POLYPTYQUE DU CHANOINE BENOIT — *Étude sur un Manuscrit de la Bibliothèque de Cambrai* — avec une reproduction en phototypie sur papier de Hollande. 3 fr. 50

N° 4. — A. et P. BUISINE : *La Cire des Abeilles* (Analyse et falcifications). 4 fr.

N° 5. — P. DUHEM : *Sur la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux* (avec figures). 3 fr. 50

TOME II

N° 6. — C. EG. BERTRAND : *Remarques sur le Lépidodendron Hartcourtii de Witham* (avec 10 planches). 10 fr.

N° 7. — E. BARTIN : *Etudes sur le régime dotal.* 3 fr.

N° 8. — P. DUHEM : *Sur la dissociation dans les systèmes qui renferment un mélange de gaz parfaits.* 6 fr.

N° 9. — P. HALLEZ : *Morphogénie générale et affinités des Turbellariés.* 2 fr.

TOME III

N° 10. — M. DUFOUR : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (1re Série). 4 fr.

N° 11. — P. DUHEM : *Dissolutions et mélanges.* 1er Mémoire : *Équilibre et mouvement des fluides mélangés.* 4 fr. 50

N° 12. — P. DUHEM : *Dissolutions et mélanges.* 2e Mémoire : *Propriétés physiques des dissolutions.* 4 fr. 50

N° 13. — P. DUHEM : *Dissolutions et mélanges.* 3e Mémoire : *Les mélanges doubles.* 4 fr. 50

N° 14. — M. DUFOUR : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (2e Série). 2 fr. 50

TOME IV

N° 15. — A. PINLOCHE : *Principales œuvres pédagogiques de* HERBART. *Pédagogie générale — Esquisse de leçons pédagogiques — (aphorismes et extraits divers).* 7 fr. 50

N° 16. — B. BRUNHES : *Sur le principe de Huygens et sur quelques conséquences du théorème de Kirchhoff.* 3 fr. 50

N° 17. — M. DUFOUR : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (3e Série). 2 fr. 50

TOME V

N° 18. — A. PENJON : *Pensée et réalité d'A. Spir.*, traduit sur la 3e édition. 10 fr.

TOME VI

N° 19. — R. SWYNGEDAUW : *Étude expérimentale et théorique de la décharge dérivée d'un condensateur.* 2 fr.

Atlas N° 1. — F. TOURNEUX : *Album d'embryologie. Développement des organes génito-urinaires chez l'homme.* 40 fr.

Atlas N° 2. — J. FLAMMERMONT : *Album paléographique du Nord de la France.* 20 fr.

Bulletin des Facultés de Lille (1re Série) 1889-96.

Bulletin de l'Université de Lille (2e Série) 1897-98.

TRAVAUX & MÉMOIRES

DE

L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME VI. — Mémoire N° 20.

G. LEFÈVRE. — Les variations de Guillaume de Champeaux et la question des Universaux : Étude suivie de documents originaux.



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN BART

1898

EN VENTE

A LILLE, à la Librairie Générale, rue Faidherbe, 11 et 13.

A PARIS, chez Alcan, 108, Boulevard St-Germain,
et Welter, 59, rue Bonaparte.

TRAVAUX & MÉMOIRES

DE

L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME VI. — MÉMOIRE N° 20.

G. LEFÈVRE. — LES VARIATIONS DE GUILLAUME DE CHAMPEAUX ET LA QUESTION DES UNIVERSAUX : ÉTUDE SUIVIE DE DOCUMENTS ORIGINAUX.



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898

Le Conseil de l'Université de Lille a ordonné l'impression de ce mémoire, le 20 juillet 1898.

L'impression a été achevée, chez LE BIGOT FRÈRES, *le 15 octobre 1898.*

LES VARIATIONS

DE

GUILLAUME DE CHAMPEAUX

ET LA

QUESTION DES UNIVERSAUX

ÉTUDE SUIVIE DE DOCUMENTS ORIGINAUX

PAR

G. LEFÈVRE

MAÎTRE DE CONFÉRENCES A LA FACULTÉ DES LETTRES
DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TRAVAUX ET MÉMOIRES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE
TOME VI. — MÉMOIRE N° 20.



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART
1898

LES VARIATIONS

DE

GUILLAUME DE CHAMPEAUX

ET LA

QUESTION DES UNIVERSAUX (1)

PAR G. LEFÈVRE

MAÎTRE DE CONFÉRENCES A LA FACULTÉ DES LETTRES

DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

I

Guillaume de Champeaux avait certainement composé de nombreux traités (2). Nous connaissons par Abélard le titre de l'un d'eux, la *Glose sur le « De interpretatione »*. Mais le texte en est perdu et nous n'avons même pas les titres des autres. C'est ce qui a permis à M. Cousin (3) de dire que « Guillaume de Champeaux n'est plus qu'un nom célèbre ».

Indépendamment de ses ouvrages dialectiques, il existait cependant de lui d'autres écrits. Mais, par cela même qu'ils ne semblaient pas devoir apporter beaucoup de lumière sur son attitude dans la fameuse controverse des universaux, ils n'attirèrent jamais beaucoup l'attention.

(1) Cette étude a été lue devant l'Académie des Sciences morales et politiques, le 25 juin 1898.

(2) Cf. Hauréau : *Histoire de la Philosophie scolastique*, 2ᵉ édition., t. I, pp. 321-323; et Cousin : *Ouvrages inédits d'Abélard*, Introd., p. CXII.

(3) *Loc. cit.*

Le morceau donné par Martenne dans son *Thesaurus novus anecdotorum* (1) et reproduit par Migne (2), « *De origine animæ* » n'est pas de Guillaume de Champeaux, à qui une erreur de lecture l'a fait attribuer par ces éditeurs. Il est d'Anselme de Laon, ainsi qu'on peut s'en convaincre en regardant plus attentivement le manuscrit 425 de la Bibliothèque de Troyes (3).

Mabillon (4) et Migne (5) ont publié sous le titre « *De sacramento altaris* », mais incomplètement et avec une erreur dans la dernière ligne, un fragment authentique de Guillaume de Champeaux. C'est le numéro XI de ceux que nous éditons. Il fait partie, en effet, du livre des *Sentences* dont nous parlerons plus loin. Ce texte prouve qu'au commencement du XIIe siècle l'usage existait encore de donner la communion sous les deux espèces, bien que l'on considérât J.-C. comme présent tout entier sous chacune d'elles. C'est à l'intérêt théologique et historique qu'il présente que ce morceau, cité par Bossuet, a dû d'être imprimé.

Martenne et les auteurs de l'Histoire Littéraire de la France ne considèrent pas comme l'œuvre de Guillaume de Champeaux le *Dialogus, seu altercatio cujusdam Christiani et Judæi, de fide catholica* que Migne a inséré dans sa Patrologie (6). L'abbé Michaud (7) n'hésite pas à se prononcer dans le sens contraire. Mais l'argumentation qu'il invoque, à défaut d'indice positif, ne nous paraît pas décisive.

L'existence d'un livre des *Sentences*, dû à Guillaume de Champeaux, avait été maintes fois signalée. Dans une lettre

(1) T. V., p. 881-882.
(2) *Patres latini*, t. CLXIII, col. 1043-1045.
(3) Fol. 119, R°.
(4) *Acta Ordinis Sancti Benedicti*, t. III, præf., p. LIII.
(5) *Patr. lat.*, t. CLXIII, col. 1039-1040.
(6) T. CLXIII, col. 1045-1072.
(7) *Guillaume de Champeaux et les Écoles de Paris au XIIe siècle.* — Paris, Didier, 1867. 2e édit., App. I, pp. 530-531.

qu'il adresse le 31 janvier 1670 au P. Cl. du Molinet, en l'abbaye de Ste-Geneviève-du-Mont, le P. Degyves décrit sommairement un manuscrit qui se trouve dans le diocèse de Châlons et qui renferme les « *Sententiæ Guillelmi Catalaunensis episcopi* » : « Ce sont, dit-il, comme des questions de théologie » (1).

Le 21 février de la même année, le P. Germiny, de l'abbaye de St-Mesmin, envoie au même Cl. du Molinet une lettre sur le même sujet et transcrit le commencement du morceau sur la Simonie, qui est le 18e dans le manuscrit de Troyes, et le 1er dans le manuscrit 222 du fonds Notre-Dame (2).

Ce manuscrit, nº 222 du fonds Notre-Dame, aujourd'hui à la Bibliothèque Nationale, nº 18113, a été décrit et sommairement analysé dans l'Appendice III (3) aux *Ouvrages inédits d'Abélard*, publiés par M. Cousin.

Quant au manuscrit de Clairvaux, de beaucoup le plus riche, devenu le nº 425 de la bibliothèque de Troyes, il a été décrit par M. Ravaisson, dans le Catalogue des manuscrits des bibliothèques des départements, t. II, p. 191-192.

Des 148 folios dont il est formé, les 94 premiers sont consacrés aux œuvres de Pierre Comestor. Au folio 95 recto, on lit : « Incipit liber pancrisis, id est totus aureus, quia hic » aureæ continentur *sententiæ vel quæstiones* sanctorum patrum » Augustini, Iheronimi, Ambrosii, Gregorii, Ysidori, Bedæ et » modernorum magistrorum *Willelmi Catalaunensis episcopi*, » Ivonis Carnotensis episcopi, Anselmi et fratris ejus Radulfi ».

Dans ces *morceaux choisis* qui constituent le liber pancrisis, on trouve 42 fragments, d'inégale étendue, qui appartiennent à Guillaume de Champeaux. La liste en avait été donnée, sur les indications de M. Ravaisson, par Patru, dans sa thèse

(1) Biblioth. Ste-Genev., mss. 1938, fol. 50.
(2) Biblioth. Ste-Genev., mss. 2572, fol. 77-78.
(3) P. 625.

latine : « *Willelmi Campellensis de natura et de origine rerum placita* » (1).

En outre, Patru publiait, à la suite de cette même thèse, les fragments I, II en l'écourtant, XIII en l'abrégeant et en l'écourtant, XIV en y intercalant 14 lignes tirées du précédent, XV, XX, XXI, XXXII, XXXVII et XLI. Mais cette thèse est aujourd'hui à peu près introuvable.

Le fragment II figure aussi, comme appendice, dans l'ouvrage déjà cité de l'abbé Michaud (2).

Quoique ces morceaux, en majeure partie inédits, ne soient pas dans un ordre très satisfaisant, quoiqu'ils ne constituent probablement que des débris d'une œuvre plus étendue ou des extraits d'ouvrages divers, ils sont cependant loin d'être sans intérêt. On y note des développements dignes d'attention sur le péché originel (XXII, XXIII, XXX, XXXI, XXXIII, XXXIV). L'inspiration de saint Augustin s'y trahit dans ce qui y est dit du concours de la grâce et de la volonté humaine (II) et de la prévision par Dieu des actes libres de l'homme (XIII et XIV). Mais sur ce dernier point, à travers l'enseignement de saint Augustin, transparaissent les controverses rapportées par Cicéron dans *Les Académiques* et le *De Fato*.

A de nombreux indices, on reconnaît que l'auteur répugne à s'aventurer trop loin en certaines questions, laissant à Dieu le soin de nous expliquer dans l'autre vie, s'il le juge à propos, ce que la foi nous ordonne de croire et que la raison est impuissante à nous faire entendre (I, IV, V, VI, XXVIII). Il va même jusqu'à menacer les curiosités indiscrètes du plus terrible des châtiments. « Nec quærendum est ubi Deus erat antequam mundus constitueretur. Cuidam enim sic quærenti a

(1) Paris. Didot, 1847, pp. 10-12.

(2) App. II, pp. 534-535.

quodam sapiente sic est responsum : in seipso erat et damnationem tuam decernebat (XL) ». Mais ce qui l'emporte en intérêt sur tout le reste, c'est ce qui a trait à la grande controverse scolastique.

II

Il est généralement admis que, sur la question des universaux, Guillaume de Champeaux eut successivement deux opinions différentes. « Inter cetera disputationum nostrarum » conamina, *antiquam ejus* (1) *de universalibus sententiam* » patentissimis argumentationum disputationibus, *ipsum commu-* » *tare, immo destruere compuli,* » dit Abélard dans sa Lettre sur ses malheurs (2).

A prendre à la rigueur ces paroles, il semblerait que Guillaume ait fini par renoncer entièrement à sa doctrine primitive : *destruere compuli.*

Ce n'est pourtant pas ainsi que l'a entendu M. Cousin. Selon lui, Abélard tente bien d'insinuer ici que Guillaume s'est finalement rallié, par un curieux renversement des rôles, à l'opinion de son brillant et infidèle disciple. Mais cette prétention est précisément infirmée par l'argumentation que le même Abélard a dirigée ailleurs (3), contre la nouvelle doctrine de Guillaume, celle de la non-différence, témoignage irrécusable que la controverse n'avait pas cessé de subsister (4).

M. Hauréau est plus catégorique encore. Après avoir fait remarquer qu'Abélard est le seul narrateur du combat (5), il

(1) Scilicet Willelmi.
(2) *Abælardi opera*, édition d'Amboise, p. 5.
(3) *Ouv. inéd. d'Abélard.* pp. 513 et ss.
(4) Introd. aux *Ouvr. inéd. d'Abélard*, pp. CXXI-CXXII.
(5) *Hist. de la Phil. scol.*, t. I, p. 337.

s'efforce de prouver qu'entre la première et la seconde doctrine de Guillaume, les différences ne sont pas radicales et conclut ainsi : « La première thèse de Guillaume était obscure.... » Guillaume a modifié cette thèse pour mieux exprimer sa » pensée. Il ne s'est pas rétracté... En fait, la doctrine pro- » fessée par maître Guilllaume, à St-Victor comme à Notre- » Dame, avant comme après la correction..., est la doctrine » de l'unité de substance » (1).

M. l'abbé Michaud n'admet pas non plus que Guillaume ait jamais renoncé au réalisme qu'il avait d'abord professé (2).

Devons-nous croire qu'Abélard s'est vanté ? Observons tout d'abord qu'il ne dit pas avoir amené Guillaume à son propre sentiment : le maître fut contraint, déclare-t-il, de changer son opinion, bien plus de la détruire.

Ce qu'il y a lieu d'examiner, ce n'est point, par conséquent, si le maître se fit le disciple de son élève, mais bien s'il apporta à sa doctrine des modifications profondes et s'il la renversa, en quelque sorte, de ses propres mains.

Or, pour donner tort à Abélard et venger Guillaume du reproche d'avoir transformé sa doctrine, M. Cousin et M. l'abbé Michaud ont recours surtout à cette considération qu'Abélard continua à repousser la doctrine de la non-différence, seconde forme du réalisme, comme il avait rejeté la première forme, la thèse de l'identité (3).

M. Hauréau prend une autre attitude. Il ne croit pas que le système de la non-différence ait été enseigné par Guillaume. Pour lui, la correction apportée par le maître à sa première opinion ne la modifia pas profondément : il s'appuie pour le soutenir sur un texte très discuté où il lit *individualiter*, tandis

(1) *Ibid.*, p. 344.
(2) *Guill. de Champ. et les Ecoles*, pp. 230-232.
(3) Cf. Introd. aux *Ouvr. inéd. d'Abélard*, pp. CXXI-CXXII. — Michaud, *op. cit.* p. 230.

que M. Cousin lit *indifferenter* (1). Ce passage est tiré de la Lettre d'Abélard sur ses malheurs (2).

On conviendra que toutes ces discussions auraient été plus claires, et sans doute aussi plus sûres, si au lieu de conjecturer sans cesse la pensée de Guillaume d'après des paroles d'Abélard qui ne s'appliquent peut-être pas toujours à lui (3), on avait pu consulter quelque texte authentique de Guillaume de Champeaux lui-même.

En ce qui touche la première thèse, les renseignements que nous tenons d'Abélard sont assez explicites, et ce que l'on sait par ailleurs les confirme assez, pour que nous ne regrettions pas trop de n'avoir rien trouvé qui réponde au désir que nous venons d'exprimer. En revanche, le livre des *Sentences* est de la dernière manière de Guillaume et fut écrit quand il avait déjà abandonné, depuis longtemps peut-être, sa première opinion. On ne s'étonnera donc pas, bien qu'on y rencontre peu de développements philosophiques, que la nouvelle position prise par Guillaume s'y révèle incidemment; mais elle s'y manifeste en termes tellement nets qu'ils excluent toute équivoque et ne laissent plus de doute sur le changement considérable qui s'était opéré dans ses idées.

III

Mais avant d'en venir à la dernière doctrine, rappelons brièvement ce qu'était la première. Elle est présentée avec concision dans la Lettre d'Abélard sur ses malheurs : « Erat

(1) Cf. *Hist. de la Phil. scol.*, t. I, pp. 337-343.

(2) *Abælardi opera*, éd. d'Amb., p. 6.

(3) En plusieurs des passages dont on se sert, il n'est pas nommé.

» autem (1) in ea sententia de communitate universalium, ut
» eamdem essentialiter rem totam simul singulis suis inesse
» adstrueret individuis ; quorum quidem nulla esset in essentia
» diversitas, sed sola multitudine accidentium. varietas » (2).

Bayle ne connut guère le premier enseignement de Guillaume que par ce passage.

M. Cousin, en publiant des œuvres inédites d'Abélard, a ajouté d'importants documents aux brèves indications que l'on possédait sur cette première thèse. On savait déjà, par le texte précité et par l'argumentation d'Abélard, que « l'universel, tout en restant essentiellement la même chose, est tout entier à la fois dans chacun des individus auxquels il s'applique ; que les individus ne diffèrent nullement par l'essence, mais que la variété ne vient que de la multitude des accidents ». Mais on constate, dans le livre d'Abélard sur *les Divisions et les Définitions*, que Guillaume ne s'était pas contenté de poser un principe, qu'il en faisait encore de rigoureuses applications, et que l'espèce enfin n'était, pour lui, qu'un accident du genre, puisqu'à ses yeux, la différence spécifique épuisait tout ce qui fait l'espèce en tant que telle. Voici d'ailleurs ce que l'on y lit : « Juvat
» autem nunc diligenter perquirere, cum dicitur divisio generis
» fieri per differentias, atque in loco specierum differentiæ poni
» dicuntur, utrum per differentiarum nomina ipsas formas spe-
» cierum accipiamus, an potius ipsa vocabula differentiarum
» intelligamus, quæ a quibusdam sumi dicuntur in officio specia-
» lium nominum ac pro speciebus designandis usurpari, ut
» tantumdem *rationale* valeat quantum *rationale animal*, et
» tantumden *animatum* quantum *animatum corpus*, ut non
» solum formæ significatio, verum etiam materiæ, teneatur in
» nominibus differentiarum. Quæ quidem sententia Willelmo

(1) Scilicet Willelmus.
(2) *Abæl. opp.*, éd. d'Amb., p. 5.

» magistro nostro prævalere visa est. Volebat enim, memini, » tantam abusionem in vocibus fieri ut, cum nomen differentiæ » in divisione generis pro specie poneretur, non sumptum esset » a differentia, sed substantivum speciei nomen poneretur. Alio- » quin subjecti in accidentia divisio dici potest, secundum ipsius » sententiam, qui differentias generi per accidens inesse volebat. » *Per nomen itaque differentiæ speciem ipsam volebat acci-* » *pere* » (1).

Dans l'ouvrage « *De generibus et speciebus* » on voit apparaître l'opinion de Guillaume, car si celui-ci n'y est pas nommé, les mots dont se sert d'abord Abélard sont les mêmes qu'il avait employés pour résumer le réalisme dans la Lettre sur ses malheurs: « Alii quasdam essentias universales fingunt, quas *in* » *singulis individuis totas essentialiter esse* credunt ». Il poursuit, recourant à des exemples: « Homo quædam species est, res » una essentialiter cui adveniunt formæ quædam et efficiunt » Socratem : illam eamdem essentialiter eodem modo informant » formæ facientes Platonem et cetera individua hominis ; nec » aliquid est in Socrate, præter illas formas informantes illam » materiam ad faciendum Socratem, quin illud idem eodem » tempore in Platone informatum sit formis Platonis. Et hoc » intelligunt de singulis speciebus ad individua et de generibus » ad species » (2).

Nous savons par là que Guillaume avait lui-même aperçu la nécessité d'étendre aux rapports des espèces au genre, ce qu'il affirmait des rapports des individus à l'espèce. En un mot, sa première doctrine formait un ensemble dont les parties étaient bien coordonnées.

Avec quel succès cette thèse fut combattue par Abélard, c'est ce que celui-ci ne nous a pas laissé ignorer. Le raison-

(1) *Ouvr. inéd. d'Abél.*, pp. 454-455.
(2) *Ouvr. inéd. d'Abél.*, pp. 513-514.

nement qu'il y opposa est fameux : nous ne le reproduirons pas en détail. Contentons-nous de rappeler que, tirant parti de l'identité de l'espèce et de l'individu proclamée par Guillaume d'une part, et de l'unité de l'espèce affirmée par le même d'autre part, le dialecticien conceptualiste fait ressortir ce qu'il y a de contradictoire à absorber toute l'espèce dans un individu, au même temps où l'on fait de cette espèce le support des autres individus ; ce qu'il y a d'absurde à soutenir que l'homme est tout entier dans Socrate, qui est à Athènes, et dans Platon, qui est à Rome (1).

IV

Mais de cette opinion qu'Abélard combattit avec une si heureuse fortune, Guillaume de Champeaux était-il vraiment l'auteur ? Abélard ne le déclare nulle part formellement. Bien plus, certaines des expressions dont il s'est servi se concilient fort bien avec une autre hypothèse. Quand il appelle cette thèse de Guillaume « antiquam de universalibus sententiam » (2), veut-il dire qu'elle fut autrefois l'opinion de Guillaume, ou bien qu'elle est une ancienne opinion à laquelle Guillaume avait adhéré ? Notons qu'un peu plus loin, il s'exprime plutôt comme si le maître avait donné son assentiment à une doctrine déjà existante, que comme s'il avait inventé un nouveau système : « erat autem in ea sententia de communitate universalium ut, » etc .. » A ne lire que le texte d'Abélard, on pencherait déjà en faveur de cette interprétation. Mais elle se trouve absolument justifiée, depuis que M. Hauréau a publié dans les *Notices et extraits des manuscrits de la Bibliothèque nationale*, t. XXXI,

(1) Ibid.
(2) Cf. suprà, p. 5

2e partie, pp. 201-217, un traité, sans nom d'auteur, sur les *genres et les espèces*, dont la copie remonte au XIIe siècle.

Voici le passage qui prouve que la doctrine enseignée par Guillaume était alors tenue pour très ancienne et que conséquemment, il n'en était pas l'inventeur : « Est autem *antiqua* » *sententia* et quasi *antiquis erroribus inveterata*, quod unum » quodque genus naturaliter præjacet suis inferioribus, cui » naturaliter subjacenti superveniunt formæ quædam quæ » redigunt ipsam generalem naturam ad inferiora ; sicut in » animali genere videre possumus quod in natura præjacet, cui » superveniunt hæ differentiæ, rationale et irrationale, mortale » et immortale, quæ animal dividunt et ipsum divisum speci- » ficant » (1).

Nous avons insisté à dessein sur ce point qui peut paraître de médiocre importance : la première thèse de Guillaume est-elle originale ? C'est qu'en effet l'ardeur qu'on met à défendre une opinion dont on est l'auteur, n'est pas du même ordre que l'attachement qu'on a pour une doctrine plus ou moins passivement reçue d'un maître ou d'un enseignement traditionnel. Or, s'il est démontré que le maître d'Abélard ne faisait qu'exposer, avec plus d'éclat et de succès peut-être, des idées déjà admises depuis longtemps en certains milieux, on sera moins porté à révoquer en doute le témoignage du disciple affirmant que Guillaume changea et alla même jusqu'à détruire ce qu'il avait d'abord professé.

V

Quels changements introduisit-il d'abord? L'*Historia calamitatum* nous l'apprend : « Sic autem istam tunc suam correxit

(1) *Loc. cit.*, p. 201.
Odon de Cambrai et Hildevert de Lavardin avaient déjà professé le réalisme. Cf. Hauréau, *Hist. de la phil. scol.*, t. I, pp. 297 et 319.

» sententiam, ut deinceps rem eamdem non *essentialiter*, sed » *indifferenter* diceret » (1).

Au lieu de *indifferenter*, variante de l'édition de d'Amboise, acceptée par M. Cousin, M. Hauréau veut conserver *individualiter*, et il défend fort ingénieusement cette leçon (2). Mais il reconnaît, là et dans le chapitre qu'il consacre à Abélard, que, malgré une apparente opposition, le sens est, au fond, le même avec un mot qu'avec l'autre (3).

M. Cousin (4) et M. Hauréau (5) s'accordent à reconnaître que, sous ce nouvel aspect, la thèse de Guillaume demeure celle de la réalité des universaux. Dans la doctrine de l'identité, première thèse de Guillaume, la substance est le genre qui reçoit les espèces comme de simples déterminations. La doctrine de la non-différence confère aux individus le titre de substances ; mais l'être par excellence, antérieur aux individus, n'en est pas moins ce qu'il y a de commun entre les individus, ce par quoi ils ne diffèrent pas les uns des autres (6). « Cette » nouvelle théorie, dit M. Cousin, diffère de la première en » ce que les universaux ne sont plus l'essence de l'être, la » substance même des choses ; mais elle s'en rapproche en ce » que les universaux existent réellement et qu'existant dans » plusieurs individus sans différence, ils forment *leur identité* » et par là leur genre. La différence entre les deux théories » est grande, il est vrai, mais elle ne va pas jusqu'à mettre » en cause la réalité des universaux. Celle-ci subsiste dans » l'une et l'autre théorie ».

Cette claire explication marque les traits caractéristiques du système de la non-différence, par opposition au système de l'iden-

(1) *Abæl. opp.*, éd. d'Amb., p. 6.
(2) *Hist. de la Phil. scol.*, t. I. pp. 337-343.
(3) *Ibid.*, p. 367.
(4) Introd. aux *Ouvr. inéd. d'Abél.*, p. CXVII.
(5) *Loc. cit.*
(6) Hauréau. — *Hist. de la Phil. scol.*, t. I, pp. 356-357.

tité ; elle fait ressortir aussi ce qu'ils ont de commun : la réalité de l'universel, ici substantiel, là non-substantiel, mais toujours identique pour les espèces d'un même genre, pour les individus d'une même espèce. Il faut maintenant examiner si Guillaume n'a pas été chassé de cette position nouvelle.

Après avoir dit de la première opinion de Guillaume, qu'il le contraignit à la modifier et même à la détruire, « ipsum » commutare, immo *destruere* compuli », Abélard revient et insiste sur la victoire complète qu'il remporta : « cum hanc » ille (1) correxisset, immo *coactus dimisisset sententiam*, in tan- » tam lectio ejus devoluta est negligentiam, ut jam ad dialec- » ticæ lectionem vix admitteretur : quasi in hac scilicet de uni- » versalibus sententia tota hujus artis consisteret summa » (2).

On peut imaginer sans invraisemblance qu'Abélard exagère ici son triomphe. Cependant, comme il fait allusion à des événements publics, et dont le souvenir n'était pas encore perdu au moment où il écrit, il n'a pas dû s'exposer à être pris en flagrant délit de mensonge.

VI

Mais c'est assez raisonner sur des présomptions. Donnons la parole à Guillaume de Champeaux lui-même. Voici ce que nous lisons dans le premier fragment du manuscrit de Troyes (3) : « In nullis ergo hoc invenis, ut eadem substantia » sit cum personæ sint diversæ. Nam *ubicumque personæ sunt* » *plures, plures sunt et substantiæ*, ut ubicumque una est » substantia, una tantum invenitur persona; non in illa summa

(1) Scilicet Willelmus.
(2) *Abæl. opp.*, éd. d'Amb., p. 6.
(3) Mss. 425 de la Bibliothèque de Troyes, f° 95. Infra, pp. 24 et 25.

» essentia quæ, cum in rerum creatione mirabilis appareat, in » sua mirabilior cogitatur natura ».

Il devient difficile, en présence de ces propositions formelles, de croire, avec M. Hauréau, que Guillaume à persévéré dans la thèse de l'unité de substance. A-t-il du moins, comme le veut M. Cousin, maintenu que « les universaux existent » réellement, et qu'existant dans plusieurs individus sans » différence, ils forment leur *identité* et par là leur genre » ?

Reprenons le texte de Guillaume où nous l'avons laissé : « Et, ut omne ambiguitatis genus excludamus, vides has duas » voces *unum* scilicet et *idem* duobus accipi modis, secundum » indifferentiam et secundum idemtitatem ejusdem prorsus » essentiæ.

» Secundum *indifferentiam*, ut Petrum et Paulum idem dici» mus esse, in hoc quod sunt homines; quantum enim ad » humanitatem pertinet, sicut iste est rationalis et ille, et sicut » iste est mortalis et ille.

» Sed *si veritatem confiteri volumus*, NON EST EADEM » UTRIUSQUE HUMANITAS SED SIMILIS, CUM SINT DUO HOMINES. » Sed hic modus unius ad naturam divinitatis non est refe» rendus ne, quod fidei contrarium est, hac acceptione tres » Deos vel tres substantias cogamur confiteri.

» Secundum *idemtitatem* vero, prorsus unum et idem dici» mus Petrum et Simonem, Paulum et Saulum, Jacob et » Israël qui, cum singuli singulas habeant substantias, singuli » non plus quam singulas habent personas. »

Ainsi, à l'époque où il écrivait ses Sentences, Guillaume avait abandonné la thèse de la non-différence comme précédemment il avait abandonné celle de l'identité. Ce n'est pas deux, c'est trois opinions qu'il eut successivement sur la nature des universaux, et Abélard ne nous a pas trompés.

Dans son premier enseignement, il professait que l'espèce est essentiellement la même et à la fois tout entière en

chaque individu, « *eamdem essentialiter* rem totam simul sin-» gulis suis inesse individuis » (1).

Pressé par l'argumentation d'Abélard, il amende son opinion et à *essentialiter* il substitue *indifferenter*, ou peut-être *individualiter*. Mais qu'on lise un mot ou l'autre, l'espèce reste toujours pour lui *la même* dans les individus : « Sic autem » istam tunc suam correxit sententiam, ut deinceps *rem* » *eamdem* non essentialiter, sed indifferenter diceret » (2).

Dans la thèse de l'identité, Socrate et Platon sont le même homme, et il s'ensuit des conséquences absurdes. Dans la thèse de la non-différence, Socrate et Platon ne sont plus le même homme, mais l'espèce est la même « res eadem » en l'un et en l'autre : l'humanité de l'un est la même que celle de l'autre (3).

Cette nouvelle doctrine ne trouva pas grâce devant Abélard, nous le savions. Mais que Guillaume lui-même eût dû y renoncer, c'est ce que rien ne prouvait en dehors du témoignage de son adversaire. Il n'est plus permis de le contester après ce que l'on vient de lire.

La deuxième opinion de Guillaume, s'écartant de la première sur un point, lui demeurait fidèle sur l'autre. La troisième met à la place de l'identité, jusque-là conservée, une simple similitude. Il semble que Guillaume ne se laisse arracher qu'à regret cette concession : « sed si veritatem confiteri volumus », mais enfin il la fait, sacrifiant ainsi la réalité propre des universaux. L'humanité de Pierre n'est pas la même que celle de Paul, elle est seulement semblable, « *non* est *eadem* utriusque humanitas, sed *similis* ».

Cette nouvelle attitude est-elle plus sûre que les précédentes ?

(1) Cf. suprà, p. 8.
(2) Cf. suprà, p. 12.
(3) Cf. *Ouvr. inéd. d'Abél.*, De generibus et speciebus, p. 518, et Hauréau, *Hist. de la Phil. scol.*, t. I, pp. 356-357.

Si nous la connaissons assez pour savoir qu'elle en diffère, les textes dont nous disposons ne la développent pas assez pour permettre de répondre à cette question ; et il y a bien des manières d'entendre la similitude. Nous ne conclurons donc pas que Guillaume ait jamais pensé comme Abélard lui-même ; et il est constant que le maître demeura hostile à l'élève. Mais Abélard n'était-il pas dans le vrai, en rapportant que Guillaume avait fini par abandonner entièrement sa première opinion, après l'avoir transitoirement modifiée ?

Et maintenant, si l'on comprend sans trop de peine que Guillaume ait pu renoncer à défendre publiquement le réalisme, après avoir vainement tenté de le sauver par une correction qui ne lui permit sans doute pas d'échapper à de nouvelles instances de son ingénieux disciple, on s'expliquera plus difficilement qu'il soit allé jusqu'à se désavouer lui-même, et qu'ayant renoncé à plaider, il ait encore abandonné les conclusions.

Mais, si nous admettons malaisément de pareils revirements, n'est-ce pas l'effet d'un préjugé défavorable qui nous représente les hommes comme plus attachés à leurs propres idées qu'à la vérité ? Pourquoi l'évêque de Châlons ne se serait-il pas sincèrement détaché des doctrines professées par l'Ecolâtre de Paris ?

Est-ce la force des arguments d'Abélard, sont-ce les conséquences dangereuses pour la foi, que d'autres tirèrent des principes réalistes, qui agirent sur lui ? A quelque cause qu'il faille attribuer l'évolution de sa pensée, les textes ne permettent pas de la contester. L'histoire de la philosophie nous offre d'autres exemples illustres du même phénomène. Et s'il faut, à ce point de vue, rapprocher Guillaume de Champeaux de Reid rejetant, après les avoir admises, les théories de Berkeley ; et de Kant déjà vieux se détachant de la philosophie de Wolf, après l'avoir longtemps enseignée, avouons qu'il n'y

a là rien de fâcheux pour lui et qu'il est placé en bonne compagnie.

Des 47 fragments que nous imprimons, les 42 premiers sont tirés du manuscrit de Troyes. Nous avons pris les 5 derniers dans le manuscrit de Paris, où M. Cousin (1) signale encore 3 autres fragments de Guillaume de Champeaux. Mais les morceaux sur la simonie et sur l'orgueil sont précisément le XVIII[e] et le XLII[e] de ceux que nous éditons d'après le manuscrit de Troyes. Quant au dernier texte attribué par M. Cousin à notre auteur et imprimé par Martenne, il est, nous l'avons dit (2), d'Anselme de Laon.

Les n[os] XXIX à XLII ont été transcrits par M. La Flize, étudiant en lettres à l'Université de Lille.

(1) Cousin, *Ouvr. inéd. d'Abélard*, p. 625.
(2) Voir ci-dessus, p. 2.

GUILLELMI CAMPELLENSIS

SENTENTIÆ VEL QUÆSTIONES XLVII

I

De essentia Dei, et substantia Dei, et de tribus ejus personis.

Rerum omnium quas creavit Deus alias esse materias, alias esse formas, non solum ratio, sed etiam auctoritas confirmat. Sed tum neque materiam sine forma, neque formam sine materia in rerum actu esse cognoscimus. Quod cum in eis quæ sensibus subjacent sit manifestum, ut in corpore et colore, non minus credere debemus de his quæ non videmus, anima scilicet et angelo. Quorum quidem materia, cum quantum ad partes quæ simplex esse dicatur, formas tamen suscipit congruentes, incorporeitatem videlicet, omnis incorporeæ substantiæ substantialem differentiam; et accidentia quædam quibus et animæ inter se et angeli inter se comparantur. Nam inter istos justus, justior, justissimus invenitur et inter illas justa, justior, justissima esse cognoscitur. Ille vero qui hæc omnia creavit talis est essentia quod neque recte materia, cum nihil suscipiat, neque dici possit forma, cum a nullo suscipiatur, cumque ne fas sit dicere talem essentiam aliquando subjectum informare.

Quod ipsa a nullo informetur sic disputatum est. Forma namque aut substantialis est, aut accidentalis. Substantialis autem prior est naturaliter eo cujus est substantialis. Si ergo aliqua substantialis forma esset in Deo, aliquid prius esse in eo, nec ipse omnium rerum creator esse inveniretur: quod quantum sit inconveniens nullum qui ratione utatur latet.

Quod et idem de materialibus partibus quilibet potest

ratiocinari, cum partes omnes suum vel natura vel tempore compositum antecedant. Indignum vero est ut aliqua accidentalis forma sit in eo qui, cum semper et stabilis permaneat et invariabilis, nihil in se recipere debet quod possit variari.

Nam variatur omne accidens, ut humano modo loquar, an in substantiali nativitate, an postea contingat in esse. Si qua in eo accidentalis forma fuerit, ex quo fuit et semper, quomodo omnium formarum dicetur creator ? Eam namque non creavit quæ semper cum eo et in eo fuit. Quod si postea habuit, mutabilis approbatur esse qui quod quidem non habuerat in formatione sui, recepisse cognosceretur.

Sed, ut plura quæ pro ratione dici possent prætermittamus, auctoritatibus Patrum credere debemus, quæ omnem aut qualitatem, aut quantitatem, aut quamlibet aliam formam ab essentia divinitatis excludentes, simplicem eam, tam partium quam formarum respectu, vocaverunt substantiam vel essentiam.

Nam quando eum pium, justum, misericordem aut pietatem ipsam et cetera vocamus, sano est intellectu accipiendum. Quod ut sane intelligere possimus, attendenda est et rerum natura humanarum et vocum inventio.

Cum enim homines pietatem, justitiam habeant, non autem ipsi pietas, justitia sint, illos in quibus pietatis, justitiæ opus videmus, pios, justos prædicamus, ita ut hæc sumpta vocabula et subjecta nominent et qualitates eis adjacentes significent.

Hæ igitur voces, humanis usibus inventæ, ad loquendum de Deo transferuntur.

Nam quia eum opera pietatis, justitiæ creaturis impendere comperimus, per quamdam similitudinem, pium, justum nominamus, non quod in eo has qualitates esse dicimus, sed ipsum his nominantes nominibus, per eum tales fieri in rebus operationes confitemur. Inter homines quoque eadem translatione utentes, Johannem Heliam, Simonem magum Antechristum vocamus. Utque etiam ipsum esse horum bonorum causam

demonstremus, ipsarum qualitatum nomina ad ipsum transferemus, eum pietatem ipsam, justitiam et cetera nominantes, ut etiam inter homines, aliquem impiissimum, ipsum scelus.

Quod si quis aliter, sed fideliter has et consimiles constructiones, ut de furore Dei et ira, exposuerit, illud tamen firmiter est tenendum, illam simplicem divinitatis substantiam omnium tam formarum, quam partium, omnino esse expertem.

De qua, propter dignitatem ipsius et potentiam, multa credi oportet quæ capi ratione non possunt humana. Nam quia indignum esset ipsum in aliquibus creaturis esse et in aliquibus non esse, aut aliquando in his, aliquando in illis, aut ejus potentia sicut calor ignis extenderetur ubi ejus substantia extendi non posset, credendum est eum in omnibus prorsus esse creaturis, immo in eo et ab eo contineri creaturas et semper et substantialiter totum in una quaque rerum particula indivisum, etiam in inferno.

Illa autem vera est fides quæ id credit quod nec intelligi potest. Hoc est autem argumentum non apparentium. Ante omnes etiam creaturas, suo spatio manendi fuit quod vocatur æternitas, quod videlicet nec principium, nec finem habet, nec aliquam mediam mutabilitatem.

Nec enim catholica Ecclesia illos judicat audiendos, qui aliquas ex creaturis dicunt semper cum creatore fuisse ac sicut sol, qui natura prior est suo lumine, nunquam tamen est sine suo lumine, quod in causis paribus suis effectibus reperitur, sic et ipsum creatorem, potentia et dignitate priorem, nunquam tamen sine aliquo suo dicunt exstitisse effectu. Sed hoc fides non recepit. Immo, ut humanis loquar verbis, illum qui nullis subjacet temporibus, aliquando fuisse nullis prorsus rebus aut materialiter aut substantialiter exsistentibus.

Ille enim suo, ut dictum est, spatio manendi ante omnia solus exsistens, felix, nullo indigens, omnia de nihilo, non de præjacente materia vel formis, sua sapientia creavit et sua

caritate dilexit. Quæ quidem sapientia Filius Patris, caritas vero Spiritus utriusque sanctus vocatur. Est enim unus Deus et trinus, unus quidem in substantia, trinus in personis; quod qualiter explicare possim non video, cum in nulla rerum natura simile quid possit inveniri.

Dici tamen et credi oportet Deum unum tres habere personas, quarum una Pater dicitur, propterea quod ex se credatur aliam generare personam quæ Filius nominatur. De qua generatione per similitudinem id dicamus quod possumus; et quod similitudo describere non potuerit fides sola defendat. Scimus hominem quemlibet aliquam cogitationem in animo suo concipere, per quam aliquid quod facturus est disponat. Illa tamen cogitatio ab ipso homine ex toto differt: est enim accidens et animæ suæ actio transitoria, nec de substantia hominis, nec homini semper adhærens.

Sic, vel potius non sic, Deus pater cogitationem habet unam per quam omnia creavit, disponit, regit. Illa tamen talis cogitatio accidens non est Patri, sed ejusdem prorsus cum eo substantiæ, coæterna Patri, ejusdem dignitatis, potentiæ et majestatis, Deus idem. Ponit etiam Augustinus de sole et solis splendore similitudinem. Sed splendor accidens est aut aeri aut soli, non ejusdem cum sole substantiæ.

Ponit iterum de anima et ratione. Sed iterum ratio, licet potentia sit animæ, non tamen ejusdem cum anima substantiæ sed ejus inseparabilis forma. Nam quod in prædictis ratio et anima una est anima, convenienter est intelligendum, ut potius illa dicamus simul et inseparabiliter inhærere et non idem etiam in substantia esse.

In nullis ergo hoc invenis ut eadem substantia sit, cum personæ sint diversæ. Nam ubicumque personæ sunt plures, plures sunt substantiæ, ut ubicumque una est substantia, una tantum invenitur persona; non in illa summa essentia quæ, cum in rerum creatione mirabilis appareat, in sua mirabilior

cogitatur natura. Et ut omne ambiguitatis genus excludamus, vides has duas voces *unum* scilicet et *idem* duobus accipi modis, secundum indifferentiam et secundum idemtitatem ejusdem prorsus essentiæ.

Secundum indifferentiam, ut Petrum et Paulum idem dicimus esse in hoc quod sunt homines; quantum enim ad humanitatem pertinet, sicut iste est rationalis et ille; et sicut iste est mortalis et ille. Sed si veritatem confiteri volumus, non est eadem utriusque humanitas, sed similis, cum sint duo homines. Sed hic modus unius ad naturam divinitatis non est referendus ne, quod fidei contrarium est, hac acceptione tres Deos vel tres substantias cogamur confiteri.

Secundum idemtitatem vero, prorsus unum et idem dicimus Petrum et Simonem, Paulum et Saulum, Jacob et Israël qui, cum singuli singulas habeant substantias, singuli non plus quam singulas habent personas. Et nos quidem Patrem et Filium hoc modo dicimus idem prorsus in substantia; sed differt quod duæ sunt personæ. Hæc ergo summi Patris cogitatio Filius ejus dicitur. Hic autem Filius Patris dicitur sapientia, consilium, fortitudo; et per eum Deus pater omnia creat, disponit et regit fortiter et suaviter. Dicitur etiam splendor et imago Patris, quia per eum Deus cognitus est mundo. Hic iterum dicitur mens sive verbum in quo Deus pater formas omnium rerum, quæ fuerunt et quæ sunt et quæ erunt, æternaliter et simpliciter comprehendit et ad ejus similitudinem temporaliter et multipliciter format quicquid iterum mirabile est et nostris cogitationibus diversum. Nos enim, secundum varias rerum quas cogitamus formas, varias habemus conceptiones et transitorias. Ipsa vero divina conceptio una et æterna omnes omnium temporum similiter et ineffabiliter comprehendit.

Hoc igitur Verbo Pater et seipsum et Filium cogitat et omnes res, ita ut non oporteat dici Verba duo aut plura. Hoc enim solum sufficiens est mirabiliter ad omnia, unde unigenitus

Dei vocatur. Talis igitur est persona quæ Filius dicitur a solo Patre generata, Deus de Deo, lumen de lumine, principium de principio, non tamen duo Dii, non duo lumina, non duo principia. In nullo enim nomine videtur posse plurale dici nisi in persona.

Tertiam vero personam, quæ Spiritus sanctus nominatur, quomodo credi oporteat, consideremus ut possumus. Est enim quidam affectus in homine quo seipsum homo diligit et alios. Ipse tamen hominis est accidens et quædam ipsius animæ passio, nec de substantia hominis. Sic, melius non sic, procedit a Patre Deo affectus quo se et Filium diligit; non tamen ejus est accidens aut passio, cum Deus nihil patiatur, sed ejusdem prorsus cum Patre et Filio substantiæ; et quicquid de coæternitate et de cetera idemtitate inter Patrem et Filium superius disputatum.

Sed si, quod verum est, Pater amat se et Filium, quæri potest si Filius et se et Patrem amet. Quod si concedatur, et concedi enim debet, necessario amor ille procedit a Filio. Sic ergo ab utroque procedit et unus : sicut enim, ut superius dictum est, unum Verbum sufficiens erat per quod et Pater et omnia cogitarentur, sic et unus sufficit amor quo et Pater et se et Filium et Filius et se et Patrem diligat et omnia a se creata diligat. Hic ergo affectus, sive amor, sive caritas, Spiritus sanctus vocatur.

Ut hujus vocis, quæ est *spiritus*, distinctius significatio cognoscatur, dicenda est ejus equivocatio. *Spiritus* enim nominat omnes incorporeas substantias, animas videlicet, demones et angelos, insuper ipsum Deum sive Patrem, sive Filium, sive Spiritum sanctum. Item *spiritus* accipitur pro inspiratione divina quam idcirco sanctam nominamus, quia possunt esse inspirationes demonicæ quæ sanctæ non sunt. Hoc ergo modo accepta vox ista nomen personæ Patris et Filii non est, sed ejus tertiæ quæ est amor.

Hæc est igitur illa trinitas Patris et Filii et Spiritus sancti in cujus nomine fides baptizandorum confirmatur.

Huic autem trinitati quædam nomina attribuuntur ad distinctionem personarum, quædam non ad distinctionem. Illa quæ ad distinctionem sunt, nunquam (ea quæ unius personæ) de nominibus aliarum personarum prædicabuntur. Nunquam enim dici debet : Pater est Filius, aut Spiritus sanctus, aut e converso. Dicitur enim Pater respectu Filii, et Filius respectu Patris, et uterque respectu Spiritus sancti, et Spiritus sanctus respectu utriusque, et tamen sunt relativa et quodammodo proposita. Sunt tamen quædam personalia non relativa, ut de solo Patre ingenitus, de solo Filio unigenitus, verbum et imago, de solo Spiritu amor. Ista iterum de se non prædicantur.

Ea vero quæ non ad distinctionem omnia ad invicem de se prædicantur et de singulis personalibus ut : Deus est omnipotens et æternus et immensus et cetera et ad se invicem. Ita Pater est Deus, Filius est Deus, Spiritus sanctus est Deus, et sic de ceteris.

Nihil tamen pluraliter dicitur nisi persona ; dicuntur enim tres personæ, non tres Dii aut substantiæ. Dicitur etiam : Filius e substantia Patris, non ex persona ; ad quam etiam dicendum distincte, his utimur vocibus *alius*, *aliud*, *ille* et *illud* ; dicimus enim : alius Pater est quam Filius, non aliud, vel illud est Pater quod Filius, non ille, per neutrum quidem substantiam, per masculinum personas significantes.

Ubicumque est una ex illis personis, ibi est et alia ; nec una prior aut dignior alia, sed totæ tres personæ coæternæ sibi sunt et coæquales.

Sed cum inter se differentes sint personæ, quæritur quæ res illam personarum faciat diversitatem. Quicquid enim in creaturis est diversum, vel a se, vel ab alio, aut in essentia est diversum, aut in forma. Harum personarum diversitatem diversa non facit essentia, cum eadem prorsus trium sit essentia. Forma

autem, ut dictum est, nulla est in Deo. Nam per illa vocabula *Pater*, *Filius*, *Spiritus sanctus*, nullas intelligimus poni proprietates, sicut de justo et pio superius dictum est.

Quid ergo vocemus tres illas personas, aut quomodo diversæ sint inter se, nondum nobis est manifestum ; sicut etiam quomodo Deus Pater æternaliter generat Filium, aut quo modo Deus spiritus ab utroque procedat, nondum est manifestum. Cum autem Deo placuerit, revelabit fidelibus suis, quia hæc est vita æterna.

II

De creatione angeli et hominis, et de libero arbitrio eis attributo, et quid sit prædestinatio.

Deus igitur, cum esset bonus et felix, voluit aliquos suæ bonitatis ac felicitatis esse participes, constituitque rationales creaturas, angelos scilicet et homines, ex quibus civitatem suam componeret. Utrisque etiam liberum arbitrium dedit, ut quid bonum ac malum esset discernerent et utrum vellent agere, nulla impediente necessitate, liceret.

Hoc autem idcirco fecit ut aliqua viderentur habere merita si ea, quæ suo creatori placerent, agerent. Nam si bona agerent aut mala, non propria potestate, sed sola necessitate, nihil aut hinc præmii, aut inde tormenti, deberent juste incurrere.

Hoc tamen privilegium dicitur retinuisse Deus ut illi cum malum quidem ex se, bonum vero non nisi a Deo, facere possent, et cum hoc non nisi a Deo, omnibus etiam divina gratia suam æqualiter opem offerebat, ut quicumque ea uti vellet, misericors in eo et justus inveniretur ; si quis vero eam respueret, justitia Dei in eo inveniretur.

Hac autem divina gratia omnibus apposita omne meritum

prævenit, omnem bonam excitat voluntatem, nulla enim nisi per eum potest etiam voluntas haberi. Quos igitur sibi prævidet consensuros ante diligit quam operentur; eos vero quos non consensuros, ante relinquit quam committant. Ipse enim omnem animorum qualitatem et intemperiem, antequam res essent, novit.

Nec debet videri injustus si, secundum quod jam providit, gratiam illi auferat, isti autem conferat. Quod ut patentius cognoscatur, videndum est quæ sit illa gratiæ præventio et quæ ejusdem operatio, ut quid boni a Deo angelica aut humana habeat natura, et quid ex se et quod tantum ex se, a Deo quoque habeat videamus.

Præventio igitur gratiæ fuit illa præparatio naturæ, qua quidam homo aut angelus factus est aptus ad discernendum bonum et malum, et habendum illum naturalem homini appetitum quo omnes communiter boni quam mali naturaliter volunt bonum. Talis igitur est præventio et divinæ gratiæ communio.

Hanc itaque homo, sive angelus, naturæ suæ intelligens aptitudinem, ut aliquod habeat meritum, illi naturali voluntati consentire debet et adhærere ut, sicut in eo est naturalis boni voluntas, ita implere ardenter cupiat. Sed cum illud per se implere non possit, adest adjutrix gratia quæ operatur et illam voluntatem ad effectum perducit. Si quis vero non adhæret, deest gratia quia non habet quod in eo adjuvare debeat.

Ergo præventio gratiæ a Deo communiter omnibus, consensus autem aut adhæsio ex natura ipsius angeli aut hominis; impletio iterum a Deo per gratiam. Sed quia iterum ille consensus qui est ab ipsis nullo modo haberetur nisi illa natura sic esset præparata, negari non potest quin illud quoque ab eo sit; sed a Deo propter aptitudinem quam fecit, ab ipsis vero quia, cum id intelligerent, libenter adhæserunt.

In quo illud quoque est considerandum quod, si quem divina præscientia noverit consensurum, ipsum quoque consensum

excitat et, ut verior et melior fiat, efficit, et e contrario quem non consensurum præscierit, ita sibi et suo arbitrio relinquit ut per se in deterius labatur et induretur, quod est tradere in reprobum sensum.

Sic igitur impletio justitiæ neque est volentis per naturam, neque currentis per consensum, sed miserentis Dei per gratiam adjutricem. Unde legitur: « Velle adjacet mihi, perficere autem bonum non invenio » et cetera quæ ibidem leguntur (1). Notare enim debemus quod, in his quoque temporibus, ad eamdem præparationem habemus informationes Scripturarum et exemplorum, etc. Propter hoc etiam oramus et bona facimus ut hujusmodi consensum in nobis a Deo excitari et impleri faciamus.

Ex his potest videri quid sit prædestinatio. Cum enim Deus omnia sciat antequam fiant, novit qui sibi sunt consensuri antequam nascantur. Illos igitur jam amat antequam sint et eligit cum gratia inter alios juvans, perficiens, vocans et justificans. Hæc igitur electio cum gratia prædestinatio vocatur.

III

Quod liberum arbitrium depressum est in angelo et in homine.

Peccavit autem angelus, peccavit et homo. In utrisque depressum est liberum arbitrium, sed in angelis ita depressum est ut, omnino a divina gratia destituti, nihil vel velint boni aut possint. Homo vero sic est a libero arbitrio destitutus ut nec tam bene discernat post peccatum ut prius, nec ita libere velit bonum aut possit. Molestiis namque carnis subjectus

(1) Beati Pauli Epistola ad Romanos, c. VII, v. 18.

plus indiget gratia quam prius. Unde talia verba in Augustino inveniuntur : « Homo ante peccatum non operabatur bonum nisi cum gratia, post peccatum vero non nisi ex gratia ».

Nam in utroque statu cum a gratia juvaretur, magis videtur indigere nunc quando legi subjacet carnis. Leviter illud quod videbat bonum gratia adjuvante perficiebat. Hoc autem illud est quod quidam volunt dicere cum hominem dicunt liberum arbitrium amisisse, non quod omnino sua careat potestate, vel libertate, vel facilitate, vel facultate. Confirmatum vero dicitur liberum arbitrium in angelis qui in bono perstiterunt et adhuc persistunt, quia et in discretione boni et mali non falluntur et bonum quod volunt liberius perficiunt.

In hominibus quoque post resurrectionem idem erit.

Quod autem dicitur liberum arbitrium liberatum potest intelligi quod, per majorem gratiam additam in fide, Christi fideles minus difficile faciunt quod volunt et melius discernunt, vel fortasse in resurrectionibus liberatum, quando nulla carnis molestia post illam renovationem dominari potest.

IV

De ligno scientiæ boni et mali, et de originali peccato, vel quare puniatur anima.

Creavit Deus hominem natura quidem mortali et passibili, sed quæ tamen, si obediret semper, haberet unde mortem et passionem evadere posset. Cum enim in paradiso deliciarum positus esset, in eodem loco arbores plantavit quarum fructu homo famem suam præveniret. Plantavit et lignum vitæ quo senium et mortem vitaret ; sic ergo vivendo, sine aliqua carnis molestia, sine libidinis ardore, filios et filias procrearet

donec, prædestinatorum numero completo, ad veram immortalitatem transferretur, ubi nullo ligni esu indigeret.

Sed in eodem loco plantaverat Deus lignum scientiæ boni et mali a quo præcepit ut abstineret ne moreretur, non quod lignum illud in se mortificandi contineret naturam, sed si contra prohibitionem de illo comederet, factus inobediens merito locum illum amitteret et ligni vitæ usum quo mortem vitaret non haberet; factusque exsul in exsilium hujus mundi poneretur, ubi non solum mortem, sed et famem et sitim frigusque patiens, in sudore vultus, pane suo vesceretur; insuper et reditus ad lignum vitæ, gladio interposito, ei negeretur; et quia per tactum illius ligni vetiti hoc mereretur, idcirco illud lignum scientiæ boni et mali vocabatur, per quod videlicet quod esset bonum aut malum experiretur; nam cum prius bonum haberet malumque nunquam passus, quid et quantum ipsum bonum esset intelligere, accipiendo quid amisisset, tandem comperiret.

Unde diabolus in equivocatione hujus vocis quæ « *sciens* » est, mulierem decepit, cum diceret : « Eritis sicut dii ». Credidit namque mulier quod aliquam dignam acquisitura esset scientiam, sed potius illud incurrit quod expositum est, boni et mali experimentum. Si igitur quæras, cum illud lignum mortificandi in se naturam non haberet, cur ne manducarent prohibuit, scias quod ipse volebat eos aut merito obediendi munerare aut, si non obedirent, seipsos esse tales non ignorare qui sine divina gratia contra malum nihil possent, nihilque boni sibi sed Deo soli imputarent. Ipse tamen Deus, qui omnia antequam essent novit, quid facturi essent non ignorabat, sed ex hoc peccato ad majorem eos gratiam perventuros providebat, dum ex eorum natura se carnem suscepturum et eorum se fratrem et filium futurum, conjuncta Verbo humanitate, disponebat. Et Eva quidem seducta est. Adam vero magis amore quam spe falsæ credulitatis captus est.

Amissa igitur tanta felicitate positisque in exsilio, ita eorum est per se corrupta natura ut jam infirmior ad resistendum, peccato priori multa peccata superadderet. Innatus est ille fomes peccati et carnalis illa infirmitas qua omnis homo pronior est ad peccandum. Ex hoc jam nemo nascitur sine peccato, quia omnis in concupiscentia et ardore libidinis est generatus. Ex hoc est originale peccatum de quo, ut possumus, tractemus.

Originale peccatum dicitur quod in origine suæ conceptionis unusquisque contrahit, ipsis tum parentibus fidelibus et legitima copula conjunctis ab eodem absolutis. Cum enim ad procreandam sobolem et propter vitandam fornicationem legitimo nuptiarum sacramento sint copulati, non possunt tamen illum conjugii usum sine ardore libidinis exercere. Tanta tamen est vis nuptialis sacramenti ut ipsis generantibus ardor ille non imputetur in peccatum, sed generato.

Nam cum ipse generatus nullum in se habeat sacramentum (namque solis attribuitur personis a persona separatis), ex ipsa lege nascendi, ipsi nascenti imputatur in peccatum quod taliter sit generatus. Nec illa corrupta natura, per peccatum generata, digna est Deo, nisi iis qui ordinati sunt modis regeneretur ad vitam.

Quæritur tamen cum animæ novæ et ex nihilo, non ex traduce, creentur et a Deo bonæ fiant et bonæ infundantur, quomodo non injustus credatur Deus ; qui cum se semper facturum providisset ut novas singulis corporibus animas infunderet, propter peccatum Adæ propositum suum mutare nec debuit nec voluit.

Cum ergo seminatur corpus corruptibile, facit Deus quod suum est infundens animam. Si ergo contactu corruptibilis corporis et ipsa corrumpatur, nihil ad creatorem qui et omnia bona fecit et quod debuit fecit.

Si autem quæris quare contactu corruptibilis corporis corrumpatur, hoc novit ille qui naturas novit.

V

Quod duæ naturæ constituunt unam Christi personam.

Suscepit Deus perfectam hominis naturam, id est humanam animam et corpus sine peccato, id est natum sine libidine. Cum ergo anima et corpus convenienter juncta faciant hominem, deitas cum homine juncta facit Christum Jesum. Duæ igitur naturæ unam Christi personam constituunt, ita ut nec humanitas in divinitatem, nec divinitas in humanitatem sit mutata; sed utraque natura, in sua exsistens proprietate, unitatem facit unius in Christo personæ.

Sed cum sit totus ubique et integer, videtur dignum quæsitu quomodo magis sit in illo dominico homine quam in aliis.

Sed sciendum est diversos esse modos quibus Deus dicitur esse in rebus.

In omnibus namque rebus substantialiter exsistit; in quibusdam autem per gratiam, ut in sanctis hominibus in quibus effectum suæ gratiæ novit; in hoc vero dominico homine per unitionem personæ.

Cum Deus in aliis rebus sit vel substantialiter, vel per gratiam, nunquam cum illis personaliter unitur. Sicut anima autem, quibusdam invisibilibus nexibus corpori conjuncta, unum cum corpore reddit hominem, sic divinitas, quibusdam suis et soli sibi notis vinculis cum humanitate copulata, unam Christi efficit personam.

VI

De anima Christi a corpore separata.

In morte Christi separata fuit anima a corpore : corpus in sepulchro jacuit, anima vero ad inferos descendit. Deitas autem semel cum utroque copulata nec a corpore sepulto est disjuncta, nec ab anima ad infernum descendente, a neutro separata suæ personalitatis vincula cum utroque firma servavit. Sed illud dubitandum est utrum illa corporis et animæ separatio efficeret ut tunc persona Christi non esset.

Quod non esse inconveniens quibusdam placet si videlicet Christus, qui secundum illam compositionem principium temporaliter habuit, lege mortis dissolutionem patiens, non esset ad tempus personaliter Christus.

Quibusdam vero hoc absurdum videtur et propterea arbitrantur animam, non locali adjunctione, sed quadam naturali vinculorum soliditate corpori consociatam, unam efficere personam. Quæ ergo dum homo vivit et localiter et naturaliter est corpori adjuncta, si localiter removeatur, possit intelligi adhuc remanere nexus naturales qui, ubicumque sit anima, non patiuntur dissolvi personam. Sic ergo aiunt posse esse in persona Christi.

Sed si hoc verum est, possumus dicere homines mortuos esse homines.

Quomodocumque sit, Deo attribuamus qui revelabit quando voluerit.

VII

Quod Christus de munda carne sine peccato natus.

Cum omnis caro in concupiscentia nascatur et passibilis et mortalis, et quæ nullo modo possit vitare mortem, caro tamen Christi sine concupiscentia quidem generata, sine peccato nata. Mundavit enim carnem de qua erat nasciturus, cum verbis angeli virgo fidem daret et ipsi Spiritus sanctus obumbraret.

Passibilis quidem et mortalis Christi caro fuit, non necessitate, sed voluntate. Poterat enim vis adjunctæ divinitatis id carni suæ conferre ut non pateretur, ut non moreretur. Sed ut iterum hominem se ostenderet, defectus suscepit humanos, incrementa temporalia, famem, sitim, fatigationem, somnum, dolores, tristitias, lacrimas scilicet pœnam peccati, semper tamen expers peccati; et quia per mortem suam suos redimere venerat, voluntariam suscepit mortem.

VIII

De tribus timoribus.

Timor qui est initium sapientiæ, qui servilis vocatur, in Christo fuisse creditur. Ipse est enim quem ultimum inter septem gradus Isaias ponit dicens : « Requiescet super eum Spiritus Domini, etc.... » Unde maxima videtur esse dubitatio. Nam perfecta caritas hunc foras mittit timorem. In Christo autem perfectam fuisse caritatem nefas est negare.

Mirum videtur quomodo perfecta caritas et timor ille in eo

simul esse potuerunt. Sed sana fide credendum est quod ille qui voluntate ceteros suscepit defectus, hunc quoque cum sit donum Sancti Spiritus suscepisse, et in eo perfectam caritatem fuisse. Quæ enim in aliis hominibus se pati non possunt in eo simul potenter fuerunt, quia alterum ex sua perfectione, alterum pro nostra habuit infirmitate. Cavendum etiam est ne superstitiosa et Deo non grata veneratio id homini auferat quod ex homine est, præter peccatum.

Sed quia de timore fecimus mentionem, omnes timoris differentias ponamus et quæ in Christo locum habeat et quæ non appareat.

DE TIMORE DEI.

Est igitur quidam timor naturalis, omnibus animalibus communis, quando ex natura carnis ea timemus quæ naturam possunt lædere carnis. Sic et nos et animalia ignem et cetera pericula timemus attingere. Unde dici potest : « Nemo carnem suam odio habuit ». Iste autem timor non est peccatum. Hunc autem timorem Christus habebat cum diceret : « Tristis est anima mea usque ad mortem ».

DE SECUNDO.

Est secundus timor ex vitio animi veniens, quando propter cupiditatem aut spem rerum istarum, homines magis quam Deum timemus ; aut si etiam inviti, timore gehennæ, non respectu Dei, bona facimus. De quo dici potest : « Cautus enim foveam metuit, et oderunt peccare mali formidine pœnæ ». Iste igitur mundanus est et malus.

DE TERTIO.

Est iterum tertius timor respectum habens in Deum, quando videlicet ipsum timemus propter potentiam ipsius, quia potest

mittere corpus et animam in gehennam. Hunc autem jussit habere nos dicens : « Nolite timere eos qui occidunt corpus, animam autem non possunt occidere ; sed potius timete eum qui potest et animam et corpus perdere in gehennam » (1). In hoc igitur timore aliquantula vis est caritatis, in hoc quod ad Deum respicit et donum Dei est. Sed quia ex ejus potentia habetur, pœnam habet et servilis dicitur et quidem bonus, sed imperfectus, nec sufficiens ad salutem, et initium sapientiæ. Ceteri enim supradicti ad sapientiam non pertinent, sed hic incipit. Ex hoc autem timore, mediantibus virtutibus, ad illum timorem tendimus qui castus dicitur, quando videlicet Deum propter ipsum timemus, qui timor melius dicendus est amor. Amando enim Deum, non habendo respectum ad pœnas quas inferre potest, sed ipsum cupientes, sed ipsum desiderantes, hic igitur caritas vocatur et perfecta, quæ foras mittit timorem illum qui erat ex potentia.

Inter hæc tamen quædam sollicitudo est de dilatione præmii, qui dicitur *pavor* quo intitulatus est octavus octonarius, quem habebat ille qui dicebat : « Cupio dissolvi et esse cum Christo ». Isti tres potuerunt esse in Christo et primus, sed secundus non.

IX

De duabus potentiis animæ, et de utilitate adventus Christi.

Homo cum peccasset illico se potestati subjecit cujus obedientiam implevit. Cumque et vir et mulier diabolo sint subjecti, in seipso tamen homo quamdam sentit servitutem quam merito patitur, quia obedivit magis uxori quam Deo.

(1) Matth., cap. X, v. 28.

Sunt enim in anima duæ potentiæ, sensualitas et ratio, sensualitas quidem qua corpus vivificatur et regitur, quæ hæc exteriora appetit, per quam est via prona ad peccandum, quæ etiam in quinque sensus corporeos dividitur. Hæc autem sic juncta cum corpore exterior homo nominatur.

Ratio vero est per quam cœlestia contemplari, bonum et malum discernere, bonum velle, et similia possit homo.

Ante peccatum igitur sensualitas, id est exterior homo, ita subjecta erat rationi ut bona uxor bono viro, eamque ita dominatrix ratio regebat, ut bonum quod discernebat et volebat, sine molestia et impedimento sensualitatis, juvante quidem gratia, perficeret.

Post peccatum vero, hanc pœnam passus est homo ut ratio sensualitati subjiceretur, ejusque molestias graviter ferens, non possit nisi majore gratia, bonum quod videbat aut volebat perficere.

Præter hanc itaque servitutem, servitutem patiebatur diaboli. Licebat enim diabolo magis tentare et post mortem animas eorum in infernum portare. Nec licebat tamen diabolo omnes æqualiter aut in vita tentare, aut post mortem cruciare, cum illi quibus divina prædestinatio misericordem gratiam impendebat, minus servituti corporis subjacerent et idcirco minorem pœnam in inferno paterentur. Non enim poterant nullam pati, donec diabolus illum sibi subjicere usurparet qui nullius commissione peccati diabolicæ subjectioni quicquam deberet.

Pèrdidit diabolus igitur jus suum in electis Dei, ita ut et illos quos tenebat redderet et deinceps illos quos divina gratia eligebat non tangeret. Multas igitur utilitates Christi adventus contulit.

Illuminata est ratio quæ prius excæcata Deum aut nesciebat aut minus intelligebat. Cognitus etiam majorem contulit gratiam, cum amaremus eum qui sic nos amavit, et ipse iterum amaret nos quia amavimus eum prius nos amantem. Unde restituti melius, facilius aliquanto resistimus peccato.

X

De naturali et scripta lege, et quod, veritate veniente, figura cessavit, et quod Christus semel oblatus saluti totius mundi suffecit.

Lex naturalis fuit quæ videlicet ex proprio arbitrio unicuique nata aut nota est. Omnis enim homo ex ratione cognoscere poterat quid agendum esset aut quid vitandum. Sed eadem ratio ita est obscurata post peccatum, ut nec quid peccatum esset homines satis discernerent, et ipsas creaturas quasi Deum adorarent.

Ut ergo ratio diu excæcata aliquo modo reformaretur, apposita Scriptura est per quam Deum esse intelligerent et quid peccatum esset apertissime docerentur,

Cumque homines essent rudes et stulti, consuluit Deus infirmitati eorum ; animalia enim, creaturæ Dei, in sacrificium ab hominibus offerebantur. Ut ergo in colendo Deo circa aliqua occuparentur, sacrificia maluit sibi quam diabolo ab hominibus offerri, cum tamen aut sanguine animalium, aut aliis rebus, nisi solo cordis affectu placari non possit. Ibi tamen Deus ita sacrificiorum testimonia disposuit, ut in illis nihil esset quod non haberet figuram spiritualiter intellectum.

Iterum, quia rudes erant, ad hanc legem conservandam invitabantur mercede temporalium, aut damno eorum, aut etiam timore mortis. Si enim æternitas eis proponeretur, non intelligeretur. Eadem tamen merces, sub figura, æternitatem significabat, ut terra promissionis.

Talis igitur lex peccatum docebat, sed cavere monebat. Cavere autem non poterant nisi gratia adjuvante quam non

habebant. Nondum enim merebantur gratiam qui, non amore justitiæ sed rerum, aut timore tantum pœnæ serviebant. Cum ergo data est lex, ad probationem est data ut, cum per se implere non possent, humiliter solam Dei virtutem et gratiam peterent.

Iterum promittebatur eis, per prophetas, ille venturus qui eamdem gratiam, Spiritu sancto illuminante, cordibus fidelium inscriberet. Probatis igitur et, aliquo modo, per prophetas et legem, si vellent, eruditis, plenitudo venit et qui promissus erat venit. Si enim ex improviso veniret, non reciperetur. Vix enim sic receptus est, licet multis et legis et prophetarum indiciis significatus esset.

Sed cum, in omnibus temporibus, originale peccatum omnes reos faceret, quærendi sunt modi quibus, in quacumque lege, aboleri potuit.

Constat enim aliquos et sub naturali lege, et sub scripta, et sub Evangelio salvos fuisse. Dicendum est igitur quod illi qui salvati sunt ante adventum Christi, credebant aliquem esse justum et pium judicem qui et bonis bona et malis mala redderet. Erant etiam qui venturum credebant quemdam a Deo qui redimeret populum; modum autem nesciebant. Erant iterum paucissimi quibus hic modus redemptionis notus erat. Quicumque igitur fide bona operabantur, ipsa fides in eis originale peccatum abluebat.

Sacrificia etiam leguntur fecisse quibus, cum affectu mentis, omnia purgabant. Et hoc quidem usque ad Abraham, simpliciter fides et forsitan sacrificia faciebant. Abrahæ vero sacramentum quoddam mandavit Deus, id est ut circumcideretur ipse et semen ejus; per quod etiam in pueris nondum fidem habentibus per ætatem, pietate patrum, peccatum illud ablueretur. Nam antea in pueris dubium est an illa fieret remissio. Hoc præceptum circumcisionis non fuit omnibus generale, sed soli Abrahæ et semini ejus.

Unde constat quod, post circumcisionis præceptum, in aliis gentibus multi salvi fieri potuerunt simplici fide, ut prius Job. Circumcisio namque illis fuit necessaria quibus fuit injuncta, et hoc usque ad Christum. Veniens autem Christus, qui non venit legem solvere sed adimplere, veritas et consummatio legis (et ipsum enim lex multis modis præfigurabat), pro circumcisione dedit præceptum universaliter. Circumcisio namque figura et signaculum erat futuri baptismi. Oportebat itaque figuram cessare cum veniret veritas ne, si adhuc teneretur, videretur veritas non venisse. Negat itaque veritatem qui adhuc umbram tenet. Nec ulterius valet circumcisio postquam baptismus prædicatur, nec quibusdam tantum, si universis indicitur.

In hac lege nova, sacrificia animalium cessaverunt quæ Christum videlicet præfigurabant, qui se ipsum hostiam Deo per sanguinem obtulit. Hoc solo sacrificio placatus est Deus pater humano generi. Sacrificium Judæorum, de animalibus oblatum, dignum donum videbatur et quotidie, aut per singulos annos iterabatur, nec poterat perfectam reddere salutem. In fide tamen figurati aliquam peccatorum faciebant remissionem. Christus oblatus totius mundi peccatis, et præteritis, et præsentibus, et futuris sufficiens, digna hostia factus, perfectam salutem fecit, et priores a tenebris eripiens posterioresque, si huic fidei perseveranter adhæreant, omnino ab eisdem pœnis immunes efficiens. Et ipse quidem semel occisus est, sed illius suæ passionis recordatur Ecclesia participatione corporis et sanguinis ejus.

Non est enim occisio quæ fit in altari, sed commemoratio factæ rei, præceptio ipsius replicata majorem nobis devotionem ingerens, dum visibiliter illum suscipimus cujus sanguine redempti sumus. Novaque et intacta ejusdem filii Dei oblatio, eorum quæ quotidie committimus peccatorum fit ablutio.

Nec potest talis vocari iteratio quæ apud Judæos singulis annis fiebat. Ibi enim diversa prorsus animalia offerebantur

singulis annis et occidebantur, licet unum significarent Christum.

Hic vero semel Christus occisus est. Multotiens autem a nobis offertur ille, idem, nec occiditur, sed comeditur.

XI

De perceptione Eucharistiæ diversi quidem usus sunt secundum aliquas causas, sed res eadem.

Quod enim panis intinctus prohibitus est accipi, ex frivola causa fuit, scilicet pro buccella intincta quam Dominus Judæ ad distinctionem porrexit. Tamen cum fide bonum est. Item quod utraque species per se accipitur, eo fit ut memoria corporis, quod in cruce visibiliter pependit, et memoria sanguinis, qui cum aqua de latere fluxit, arctius teneatur et quasi præsentetur. Tamen sciendum quod qui alteram speciem accipit, totum Christum accipit. Non enim accipitur Christus membratim vel particulatim, sed totus vel in utraque specie, vel in altera. Unde et infantulis mox baptizatis solus calix datur, quia pane uti non possunt et in calice totum Christum accipiunt.

Dandus autem est calix eis quia, sicut non potest quis ad vitam ingredi sine baptismo, ita nec sine hoc vitali viatico.

Ideo, ut dictum est, utraque species sumitur ut memoria veræ carnis quæ in cruce pependit et sanguinis effusi arctius in memoria teneatur.

Aqua quæ de latere fluxit sacramentum baptismi fuit quia sanguis redimit, baptismus abluit. Per aquam, quæ quotidie cum vino miscetur, significatur populus scilicet quod per illud cum Christo uniretur. Ideo semper faciendum est hac ratione scilicet propter memoriam sicut et ipse dixit : « Hoc facite in meam commemorationem ». Propter memoriam in quam quod vera caro et non phantasticum corpus in cruce pependerit, quod

vere humanus sanguis de latere fluxerit, Ecclesia immutabiliter cum veritate celebrat hæc sacramenta, quæ etiam ab ipso sacrificio Melchissedec in eisdem speciebus sunt præsignata et ab ipso Christo per easdem species data. Unde etiam scriptum est : « quia tres sunt qui testimonium dant in terra, spiritus, aqua et sanguis », quia scilicet testimonium veræ et non phantasticæ humanitatis Christi dedit sanguis et aqua fluendo de latere jam mortui (quod nec etiam solet, sed sanies) et spiritus quem emisit.

Quod ergo dicitur, utramque speciem oportere accipi, hæresis plane est. Quamvis enim sacramenta ibi sint secundum fractionem et odorem et colorem et saporem, tamen in utraque specie totus est Christus qui post resurrectionem quidem ex toto est invisibilis, impassibilis, indivisibilis, ita ut nec sanguis sine carne, nec caro sine sanguine, nec utrumque sine anima humana, nec tota humana natura sine verbo Dei sibi personaliter counito. Et ideo, licet in alterutra specie totus sumatur, tamen pro causa prædicta, sacramentum utriusque speciei ab Ecclesia immutabile retinetur.

Sunt enim in Ecclesia sacramenta quæ mutari licet, sunt quæ non licet ut de aqua baptismi, de his speciebus, de oleo consecrationis.

XII

Cum dicatur Dominus suum corpus tale dedisse discipulis quali modo et quale per naturam erat, videndum est quid vocetur ibi per naturam. Si enim dicimus tale esse per naturam quale erat corpus Adæ ante peccatum, parum dicimus. Corpus Adæ, etsi ante peccatum immortale et impassibile erat, quantum ad actum, tale tamen erat quod posset pati et mori si peccaret.

Sed corpus Christi immune erat a peccato et, quia Verbum Dei ei personaliter unitum erat, per hanc naturam immortale, impassibile erat. Per solam voluntatem tum passus est Christus, Dominus noster.

XIII

De providentia Dei sic quidam argumentantur: Si providentiam Dei necesse est esse veram, tunc res impossibile est aliter evenire quia ita omnia fiunt ex necessitate, quia si possibile est res aliter evenire, et providentiam Dei possibile est falli. Quod ita probatur: Si possibile est res aliter evenire, tunc potest non esse quod Deus providit. Si autem hoc est, tunc potest evenire contrarium divinæ providentiæ. Et si hoc est, tunc potest esse falsa divina providentia. Et si potest esse falsa providentia divina, tunc potest esse non vera. Quod si est, tunc non necesse est eam esse veram.

Has argumentationes sic determinamus. Si possibile est res aliter evenire, tunc potest non esse quod Deus providit. Bene sequitur. Iterum si potest non esse quod Deus providit, tunc potest evenire contrarium divinæ providentiæ. Bene sequitur.

Sed si potest evenire contrarium divinæ providentiæ, tunc providentia Dei potest esse falsa. Non sequitur, quia verum est antecedens et falsum consequens.

Et nota, cum Deus providit omnia eventura, ita providit quod nihil eum latere potuit. Nec tamen omnia providendo necessitatem rebus intulit. Cum enim omnia, quæ facturi sunt homines per liberum arbitrium, ante providerit, sic tamen providit ut homines sua voluntate quædam facturos et aliter sua voluntate eos posse facere provideret.

Vidit itaque Deus quid in hominum factis esset eventurum et vidit quod aliter possent facere homines quam esset even-

turum. Itaque cum verum sit quod homines possent facere aliter quam Deus providit, et cum sic Deus providerit quia aliter possent facere, et ita contrarium ejus providentiæ possit evenire; non sequitur ex hoc vero quod Deus possit falli; et nota quod Deum falli est credere tale quid eventurum quod nunquam eveniet, aut aliquid latere providentiam illius. Posse autem falli est hoc posse credere, aut posse hoc ignorare quod est eventurum. Neutrum autem, aut quod Deus fallatur, aut quod Deus possit falli, sequitur ex præmissis.

Quidam concedunt quod Deus possit falli sed nunquam fallitur, quod dicere insanum est.

Sed iterum opponitur quod Deus possit falli, et probatur hoc modo.

Cum Deus providerit Socratem cras lecturum, Socrates sine dubio cras leget. Cum autem lectio Socratis sit res contingens et habeat se ad esse et non esse, tunc potest Socrates cras legere et non legere. Si autem hoc est, videtur quod Deus possit providere Socratem cras non lecturum, cum Socrates possit cras non legere. Quicquid enim potest fieri videtur a Deo posse provideri. Sed si Deus potest providere quod Socrates cras non leget, tunc potest providere contrarium illi quod providit, cum providerit eum lecturum. Et ita secundum hoc, potest falli, id est potest tale quid credere eventurum quod non eveniet, quia potest providere et credere, secundum hoc, Socratem non lecturum qui sine dubio cras leget.

Hujus oppositionis solutio est Deum non posse providere omnia quæ possunt contingere, hoc modo quod credat eventurum quicquid potest evenire. Cum enim Socrates, qui cras leget, posset cras non legere, Deus qui providit eum lecturum non potest providere eum non lecturum. Si enim aliter diceremus, videretur posse falli, quod omnino denegandum putamus, quia Deum posse falli merito inconveniens reputatur.

Itaque hanc consequentiam : « Si Deus providet, et non potest falli, tunc omnia fiunt ex necessitate » esse falsam.

Hæc autem alia : « Si Deus providet res ita eventuras, tunc ita evenient » vera est.

Et iterum hæc alia : « Si possibile est res aliter evenire, tunc possibile est Deum posse falli », falsa est.

Cum ex vero antecedenti falsum consequens inferatur, quidam hanc per hanc regulam volunt probare. Cum vera sit ista consequentia : « Si res aliter evenient, tunc Deus est vel fuit deceptus », tunc similiter debet esse vera hæc : « Si possibile est res aliter evenire, tunc possibile est Deum falli » ; quia si aliquid infert aliud sine modo, illud idem cum modo infert, aliud cum eodem modo, ut cum vera sit : « Si Socrates legit tunc agit ».

Cum autem vera sit hæc : « Si res aliter evenient, tunc Deus est aut fuit deceptus », tamen non est necessaria. Nulla est necessaria qua ex possibili sequitur impossibile. Hoc autem est possibile quod res aliter evenient, et impossibile Deum esse aut fuisse deceptum.

XIV

Iterum de providentia Dei.

Notandum de providentia Dei : Deus providet omnia futura ; ergo necessaria eveniunt ; Dei enim providentia non potest falli.

Quod sane intelligendum est, et videndum etiam quo modo accipiatur sic *necessarium*, hoc est *determinatum*, cum ergo dicimus « Deus providet omnia futura, ergo ex necessitate proveniunt » ; unde forsitan diceret aliquis stultus : « Quid ergo valet consilium, cum non possent non evenire » ? Sic ergo

intelligendum est : « Deus providet omnia futura quæ quantum ad providentiam necessaria sunt, hoc est determinata. Quantum vero ad eventus hominum, non sunt necessaria ; possent enim aliter evenire quantum ad eventus hominum ».

Stultæ itaque objectioni sic respondere poterimus quæ dicebat : *cum omnia sint necessaria quæ Deus providet, quid ergo valet consilium nostrum?* « multum certe », quia nonne Apostolus dicit nos cooperari Deo? Dicit utique.

Cum igitur Deus provideat omnia, et quantum ad Deum sint necessaria, quantum vero ad nos possint aliter evenire, illi quod Deus providet cooperamur. Unde et solvamur.

Nota etiam quia Deus non solum providet actus hominum, sed etiam omnes modos. Cum enim modo sedeam, hoc providet Deus et modo etiam non sedere ; sedere enim et posse non sedere non sunt contraria.

Sed si Deus provideret me sedere et in eodem non sedere, hoc esset contrarium. Immo providet Deus me sessurum et quod ex libertate arbitrii possem non sedere.

Et nota quod non debet absurdum videri quod dicitur : Deus providet futura, et quantum ad providentiam sunt necessaria, quantum vero ad actus vel eventus hominum non sunt necessaria, sicut expositum est, cum similiter contingat in propositione quadam.

Cum enim facimus hujusmodi propositionem de contingenti futuro : « Socrates cras leget », quantum ad præsentiam sui determinata est, quantum autem ad eventus rerum de quibus agitur indeterminata. Cum enim fit propositio, et præsentialiter fiat, præsentialiter vera est vel falsa et ita determinata.

Omne enim præsens determinatum. Cum ergo ex præsentialitate sit determinata, possumus plane dicere : propositio ista determinata est, non tamen res de quibus agitur, quantum ad esse et ad non esse, determinatæ sunt. Eodem modo, cum Deus provideat futura et, quantum ad providentiam, quæ providentur

sint necessaria, id est determinata, quantum ad naturas et eventus futurorum non sunt necessaria.

XV

Cum providisset Deus quæ modo sunt et quæ facta sunt et quæ futura sunt, sic providit futura quod quædam fierent per rerum necessitatem, ut per cursum solis qui necessarius est, quædam sine necessitate rerum ; verbi gratia, Deus providit Socratem iturum esse Romam, non tamen ita quin Socrates bene posset demittere. Reliquit enim ei liberum arbitrium.

Cum itaque, quantum ad providentiam, necessarium sit (non enim potest falli Dei providentia), non est necessarium quantum ad naturam ipsius Socratis.

Similiter prævidit quædam facienda esse per orationes. Habet itaque homo meritum ex hoc tantum quod applicat se voluntati Dei.

XVI

Ad horam apparuerunt species quæ Spiritum sanctum significando monstrarent visibiliter invisibilem et, peracto significationis officio, esse ulterius destiterint ; nec post sic apparuisse legitur species, ne putaretur Spiritus aut in illam se convertisse aut in unitatem suæ eam suscepisse personæ. Filius vero permanet in humana quam assumpsit natura.

XVII

De pœna parvulorum.

Ut dicit Augustinus, mitissima est pœna parvulorum sine remedio baptismi morientium; in quibus verbis eos notat et pœnam habere et non illa gravia supplicia sustinere. Quidam autem dicunt quod eorum pœnæ tantum sint tenebræ et quod Dei visione non fruantur. Quod an sit verum diffinite non legi.

XVIII

De simonia (1).

Simoniaca hæresis a Simone mago non habuit initium. Multi enim ante Simonem in eadem hæresi peccaverunt, ut ille qui dixit Domino Jesu : « Magister, sequar te quocumque ieris ». Cui etiam a Domino respondetur: « Vulpes foveas habent, etc ».

Dicunt enim expositores quod ille, quia videbat miracula quæ Jesus faciebat, similia pro mercede temporali cupiebat operari, et ideo Dominum, ut ab eo doceretur, volebat sequi. Quod cum Jesus cognovisset, noluit ejus habere consortium.

Sed quia manifestior apparuit in Simone mago, ideo a nomine ejus nomen accepit ut simonia vocaretur. Simonia vero circa emere et vendere consideratur. Unde dubitari fortasse potest cur Simon hæreticus dicatur. Neque enim emit quia non fuit qui venderet ei, neque vendidit cum ea quæ vendere

(1) Ce fragment se trouve aussi dans le manuscrit de Paris, fol. 1 r° à 3 r°.

volebat nondum haberet nec unquam habuisset. Dictum est enim ei a Petro : « Pecunia tua tecum sit in perditione ». Qui ergo nec emit nec vendidit cur hæreticus est dicendus ?

Sed dicetur et verum dicetur quia voluntas est attendenda, non factum ipsum vel potentia, sicut scriptum est : « Quicquid volueris et si non licet, jam apud Deum factum est ». Unde dicitur : « Jam mæchatus est in corde suo » et similia. Sic ergo et Simon, quamvis actum emendi non habuit vel etiam vendendi, reus tamen voluntate emptionis comprobatur et venditionis. Emit ergo et vendidit sed sola voluntate.

Verumtamen videamus quid et quare vendere voluerit et emere, ut quale ejus sit peccatum comprobetur apertissime.

Et prius emptio consideretur. Gratiam Spiritus sancti emere voluit. Hoc autem non fuit peccatum. Non solum enim pecuniam, sed et nos ipsos in corpore et anima et quicquid habemus et quicquid possumus, gaudentes pro tanto dono tribuere deberemus. Quare enim fiebant oblationes, preces aut omnis justitia; quare et ceteri boni ante pedes apostolorum suam ponebant pecuniam ? utique ut gratiam promererentur.

Sed nec sic nefandi illius emptio excusabitur. Simon itaque ille impius erat, avarus erat, omni immunditia et omni genere malitiæ repletus erat. Talis sequebatur Petrum, talis manens cupiebat acquirere gratiam faciendorum miraculorum, ut in sua malitia persistens eadem posset opera quæ videbat Petrum operantem.

Quod ergo bonæ vitæ meritis habere non poterat nec volebat, filius pecuniæ, dono se adipisci posse credebat. In hoc ergo dupliciter peccabat : hinc Deum injustum faciens qui videretur malitiam ejus non reprobare sed amare ; inde pecuniam suam coæquans Spiritui sancto, dum illum tali emptione nitebatur comparare. Unde cum Petrus dixisset ei : « Pecunia tua tecum sit in perditione », addidit « qui donum hoc modo existimasti possidere ». Patet igitur in hac parte quantum sit Simonis peccatum.

Venditio vero sic consideratur : opera miraculorum sive prædicationem pro pecunia aut pro laude voluit facere : hoc itaque modo patens est quod multum peccavit. Cum enim esset plenus vitiis, ut eadem nutriret, ut suæ avaritiæ sic posset satisfacere, ut famam ac potentiam suam extenderet, opus divinum facere cupiebat. Sic idolatra esse convincitur quia cultum creatoris volebat attribuere creaturæ. Sibi enim laudem et utilitatem bonorum operum attribuere volebat quæ Deo debebantur. Inde etiam scriptum est, « avaritia est idolorum servitus ».

Tribus igitur modis comprehensa est hæresis Simonis : per idolatriam, per hoc quod coæquabat Spiritui sancto pecuniam suam, per hoc quod Deum faciebat injustum. Sed qualiter hæc hæresis in Ecclesia regnet in vendendis aut emendis ordinibus ceterisque spiritualibus bonis perscrutemur.

Venditio aut emptio aliquando fit per pecuniam, aliquando sine pecunia ; non tamen est minor ibi hæresis, quia pecunia non est culpa, sed intentio. Qui enim dat ordines aut cetera spiritualia quæcumque, sicut illa quæ ad canonicatus fraternitatem pertinent, pro favore aut gratia sæculari aut pro aliquo tali commodo, idolatra est quia dona Dei venalia fecit, non meritis accipientium sed pro proprio commodo et ita cultum Dei attribuit creaturæ ; avaritia enim non in sola pecunia sed in gratia sæculari et in laude consideratur.

Qui vero illa recipit pro honore, aut laude aut aliquo commodo terreno, eodem modo idolatra est, nam nec ille habet bonam intentionem.

Nec minus idolatra est ille qui dicit se illos ordines aut cetera spiritualia propterea recipere ut habeat unde ipse et pater ejus et mater vivant et serviant Deo. Deus enim nullius malæ intentionis vult esse particeps, sed simplex possessor ; vult tamen quod qui ei servit habeat unde temporaliter sustentetur. Propter quod temporalia beneficia in Ecclesiis sic sunt constituta.

Quod Paulus ostendit cum dicit : « Debet qui arat in spe arare, non pro spe ». Et beatus Gregorius : « Debemus, inquit, vivere ut serviamus Deo, non servire ut vivamus ». Quicumque igitur sic dant aut accipiunt spiritualia dicuntur vendentes, sed quia non solum vendentes, sed etiam ementes ejecit Deus de templo, determinandum est qui sint ementes.

Qui videlicet per pecuniam, aut per servitium sæculariter prælatis impensum, aut per aliquas adulationes et laudes, non ut Deo serviant, eadem spiritualia nituntur assequi, sic enim Deum, propter suam cupiditatem in qua manent, injustum faciunt et suis muneribus Spiritum sanctum coæquant. Dividit enim Gregorius ista tria munera tripliciter dicens : « munus aliud a manu, aliud a lingua, aliud ab officio ». Sed fortasse sunt aliqui qui dicunt se non emere spiritualia, sed temporalia, et ita se dicunt vacuos a culpa. Sed si a culpa Simonis, qui spiritualia aut vendere aut emere cupiebat, vacui propter hoc esse possunt quia corporalia beneficia per corporalia munera emunt, non tamen in minorem culpam incurrunt quam qui eleemosinas pauperum et Deo servientium emunt, quas nec emi licet nec vendi, sed solum ad usus pauperum et ad sustentationem Deo servientium gratis dari. Unde et rapaces et alieni juris invasores et avari esse etiam convincuntur et locum auferunt meliori.

Denique nec corporale sine spirituali, nec spirituale sine corporali canonicis aut episcopis datur, nec ipsi alterum sine altero receperunt. Unde, sicut ait Gregorius septimus, ita sunt adjuncta ut qui emerit alterum neutrum relinquat inemptum.

Arguendi igitur sunt rapinæ, sive invasionis, sive avaritiæ et omni modo simoniæ.

Qui ergo tali peste laborat Deo nullo modo placet cui non servit. Et qui male intravit timeat similem egressum ne videlicet socius illius fiat in pœna cujus imitator fuit in culpa.

Mutet igitur, sub directione prælati, malam intentionem et quod ante vanitati impendit, impendat creatori.

Apertus quidem Simoniacus, propter scandalum, si ita prælatus providerit, totum relinquens, aliam quærat Ecclesiam. Ceteri vero in eadem domo Domini, si voluerint, remaneant et mutata intentione soli Deo servire studeant. Non enim prælatus, si eos viderit necessarios esse Ecclesiæ, repellere debet, sed omnia Deo servituris pro Deo reddere.

XIX

Hæresis *large* dicitur quilibet pravus intellectus contra veritatem. Nec dicendum est quod libet peccatum esse hæresim; sed malum intellectum de eo habitum possumus vocare hæresim ut, cum adulterium non sit hæresis, si quis credat illud non esse peccatum, hæreticus est : circa enim intellectum hæresis est referenda.

Hæresis, *stricte* accepta, est scienter veritatem impugnare.

XX

Dicunt quidam peccatum nullam prorsus esse essentiam. Alii autem dicunt peccatum aliquid esse; nec dico esse *large* secundum Boethium qui dicit esse, non tantum ea quæ vera exsistunt, sed etiam ea quæ animus fingit et concipit esse, etiamsi non sint, ut Chimœra ; sed potius dicunt peccatum non tantum concipi, sed vere esse, ut albedo exsistit, judicantes multum absurdum esse hominem damnari pro eo quod non esset.

Dicunt itaque peccatum esse quamdam qualitatem quæ sub se habet species suas, luxuriam, avaritiam et cetera. Luxuria

autem et avaritia et cetera talia non dicuntur peccata quam cito insunt, etsi sint vitia; quamdiu enim ratio eis resistit, non dicuntur peccata, sed dicuntur propassiones, quasi procul a passionibus.

Tunc enim tantum dicuntur passiones quando consensus comitatur; sed quam cito consensus adhibetur, peccata sunt.

Sunt autem diversæ causæ unde ista nascuntur; quia enim videt aliquis pecuniam et per illam scit homines honorari, cupit illam et ita avaritia innascitur; quia vero in hoc discordat voluntas hominis a voluntate Dei, dicitur voluntas discordans a creatore esse peccatum. Similiter de aliis. Similiter pietas, justitia, castitas, virtutes sunt; sed cum sint in anima vel in corpore fundatæ, non dicuntur virtutes nisi adhibeatur consensus.

Nascuntur autem hæ virtutes ex diversis causis; summa autem causa est gratia Dei. Præterea quia vident in Scripturis quod « qui caste se habuerit, beatus erit », castitatem servant et ita de aliis.

Quod vero dicunt, scilicet peccatum nihil esse, sic intelligendum, peccatum non esse et non concordare cum rebus Dei scilicet non esse nec creaturam, nec substantiam, nec naturam.

XXI

Sciendum quod nihil malum est, vel in demone, vel in homine, nisi voluntas, non substantia, non natura, nec omnimodo voluntas in quantum natura. Illa enim naturalis facultas et libertas qua potuit inclinare animum et ad velle bonum et ad velle malum, a natura et a Deo est qui bonum fecit dum eam illi dedit ut posset mereri, et etiam propter datam libertatem volendi et nolendi, præceptum addidit ut hoc vellet, illud nollet.

Hoc modo naturale et liberum fuit velle et nolle, Sed hoc velle, id est malum, hoc nolle, id est bonum, non ex Deo vel ex natura, sed ex seipso demone vel homine, et hoc malum est. Quod et ipsum malum, quantum ad permittendum Deum, est bonum quare justum. Denique etiam tota ejus actio bona, occulto Dei judicio in pluribus. Sola intentio et voluntas, quæ ex se est, mala est.

XXII

Dicitur puer, quam cito habeat animam, habere originale peccatum, non quia aliquid peccasset, sed quia illud spirituale peccatum per quod primus pater, id est Adam, peccavit, imputatur ei. Ideo vero imputatur quia ex pœna illius peccati generatus est. Peccatum autem illud est prævaricatio; pœna, concupiscentia. Reputatur itaque illi puero illa prævaricatio, et peccasse dicitur in Adam prævaricante, non alia vero peccata ipsius Adæ, sive esset homicidium vel aliquid rapinæ, quia ex pœna homicidii vel ex pœna furti, si fecit, non est generatus. Originale autem tantum peccatum ad Adam referendum est, non ad alios patres.

XXIII

Etsi anima sit mundata per baptismum, tamen corpus remanet mortuum.

Ex quo mortuo corpore quia fit generatio, non ex justitia patris et matris, puer contrahit originale peccatum, ut si munda manus seminaret malum semen.

XXIV

Destructo peccato, remanet fomes peccati, id est infirmitas quædam quæ ex ipso peccato nata est et fundatur tam in anima quam in corpore. Anima enim post peccatum pronior est ad peccandum. Similiter corpus facilius resistit spiritui. Illa autem infirmitas non est peccatum, sed est effectus peccati et causa aliorum peccatorum.

XXV

Adam peccavit antequam comederet de ligno scientiæ boni et mali, quia ex quo consensit uxori peccavit. Unde illico concupivit.

Cum autem dicatur concupiscentia esse effectus peccati, intelligendum est de concupiscentia carnali, tam in genitalibus quam in comestionibus et bibitionibus.

Cum autem Adam in obedientia permanens sine concupiscentia esset, tamen coiret cum uxore quia sciebat se ideo futuros esse ut ex illis restitueretur angelicus ordo ; sicut autem per lignum vitæ senium et mortalitatem admittere debebat, sic aliis fructibus contra famem sustentandus erat ; manens enim in obedientia pateretur famem, nisi per fructus sustentaretur.

Quia vero Deus sciebat eum non permansurum in obedientia, fecit animalia quæ ei futuro misero subvenirent.

XXVI

Cum dicatur concupiscentia effectus peccati, non dicitur de concupiscentia boni, et etiam sine peccato [Adam] amasset Deum, sed dicitur de concupiscentia carnali, id est delectatione sine qua, si non peccasset, generasset. Sciens enim se a Deo ideo creatum ut per eum numerus perditus bonorum restauraretur, sine aliqua carnali delectatione coiret cum uxore, ut si aliquis digitum suum imponeret in aliquid sine aliqua delectatione.

XXVII

Quæritur, cum initium peccati fuerit a muliere, et ante mulierem a diabolo (unde dicitur in Evangelio quia « ille homicida erat ab initio »), et diabolus persuadendo et mulier consentiendo et viro persuadendo prius peccaverit, Apostolus de peccato loquens, quod per successionem posteritatis ac sobolis propagationem in omnes transierat, cur serpenti non illud adscribit aut diabolo.

Respondetur : Quia ex eo nulla penitus generatio humana. Mulieri iterum non adscribitur quia non ex muliere, sed ex viro, posteritas nominatur. Dignior enim sexus est, sicut alibi Apostolus dicit : « non vir ex muliere, sed mulier ex viro est ». Viro igitur adscribitur quia principaliter ex virili semine fit procreatio et secundario ex mulieribus, verbi gratia, sicut ex grano semen principaliter procedit et secundario ex humore terræ accrescit.

XXVIII

Ex materia corrupta nihil integrum et incorruptum nasci potest, juxta illud sancti Job: « Quis potest facere mundum de immundo conceptum semine »?

Si quis altius perquirat cur pejor pars adversus meliorem prævaluit, hoc judicio relinquendum est Dei. Illud tantum veraciter protestamur quod nisi anima et corpus hominis simul originali peccato subjacerent, non inde utrumque liberandum esset, non utrumque Filius Dei, verus Deus et homo, personaliter assumpsisset.

XXIX

Rursus consequenter quæritur, si per baptismum hominibus originale peccatum remittitur, quid obstet ut pœna ejusdem peccati non protinus absolvatur, neque timeant amplius mortem sive alicui passioni subjaceant.

Ad quod dicitur etiam : nihil utilius providit Deus nobis pius et misericors dominus; in cœlo siquidem nobis regnum et vitam meliorem quam in hoc mundo esse poterit et jucundiorem reparavit. Sed ad eam quis animum intenderit, sciens se in hoc mundo perpetuo non sine passione aliqua victurum, cum etiam est timor mortis et caro nostra tot plena est miseriis, mundus quoque pæne suis contritionibus deletus vix nos mittat ad Dominum? Voluit igitur hanc vitam amarescere nobis ut dulcescere amplius illa potuisset. Hinc, post transgressionem protoplasti, a Domino dictum est : « Videte ne sumat de ligno vitæ et vivat in æternum ».

XXX

Quæritur, cum carnem assumeret Deus ut in cruce moriendo hominem revocaret et pristinæ dignitati restitueret, ut quidquid primus homo abstulit iste redderet, quare, cum per sacramentum regenerationis omne peccatum deleatur, immortalitati et impassibilitati pariter restituatur, quare concupiscentia, peccati fomes, nobis relinquatur.

Cui quæstioni taliter respondetur et humani generis reparatio sufficiens et plenaria esse comprobatur. Omne enim peccatum, et originale et actuale, sacramento baptismi remittitur, ita tamen ut peccati pœna, mortalitas scilicet et passibilitas nobis relinquatur. Nec hoc factum est absque ratione. Si enim Deus et peccatum et peccati pœnam prorsus nobis jam abstulisset et perfectæ pristinæ dignitati in hoc restituisset, tamen peccandi libertate quam ante peccatum Adæ nos habuisse constat, forsitan diabolo machinante et dolore nostræ reparationis ultra modum sæviente, pejus laberemur et inrecuperabiliter cœlesti sede privaremur.

Consilio igitur divinæ misericordiæ factum est ut, abolito prorsus peccato, pœna peccati nobis relinquatur, donec in communi resurrectione, in ultimo scilicet adventu, hoc corruptibile corpus a vita absorbeatur, ut tunc tandem plenarie reparati et in melius etiam reformati, impassibiles et immortales cum impassibili et immortali Deo regnemus et fallacis hostis insidias ulterius non timeamus. Ideo etiam pœna peccati nobis relinquitur ut illius dignitatis a qua cecidimus et indignitatis quam incurrimus memores, omni die lugeamus et ad amissam beatitudinem per gratiam Dei recuperandam suspiremus. Propterea etiam parva videretur præcedens culpa si cum illa dimissa sineretur et pœna. Concupiscentia quoque, quæ non peccatum

quidem, sed fomes peccati et quædam possibilitas est peccandi relinquitur, ut cum ea incessanter luctemur et exerceamur, quatenus, auxilio gratiæ victores, coronari mereamur et cum Apostolo dicamus : « Bonum certamen certavi, cursum consummavi... reposita est mihi corona justitiæ... », quamvis et de alio certamine possit esse dictum.

Et in hoc est notanda benignitas Dei quæ misericorditer nobis consuluit, dum ex concupiscentia carnis superata quo dammodo se ipsum promereri voluit. Si enim salvaremur tantum ex gratia, non tanta videretur esse nostra corona.

XXXI

Sed iterum non levior quæstio : quæritur enim unde aliquis renovatus fonte baptismatis aut etiam non renovatus concupiscentiam habeat. Homo quidem constat ex anima et corpore. Animam eum habere constat a Deo et non ab Adam (quod erronei quidam dixerunt). Animam, dico, habet a Deo mundam et ab omni contagione immunem, absque concupiscentia. Carnem vero habet ab Adam sed absque concupiscentia similiter : per se enim nihil concupiscere posset. Unde ergo habet ?

Hoc quoque modo possumus probare eum concupiscentiam non habere. Si enim haberet, aut a Deo haberet, aut aliunde. Sed a Deo non. Et si aliunde habet, aut ab Adam, aut ab alio. Sed ab alio non videtur habere. Ergo ab Adam. Sed sicut dictum est, corpus tantum habet ab Adam, absque concupiscentia. Itaque ab Adam non habet, a quo tamen habet carnem. Quod a Deo non habet constat. Quia igitur ex neutra natura habet, non videtur habere. Sed habet tamen damno nostro, et non videtur homo eam habere ex conjunctione utriusque naturæ. Et videndum quomodo hoc possit esse.

Carnem, ut diximus, ab Adam habemus, sed corruptam et fragilem, et si aliquo sensificetur instrumento, ad peccandum promptam. Anima igitur superveniente et carnem ipsam vegetante, caro vires quodammodo sumit et anima utendo quasi instrumento naturam suam sequitur et fit concupiscibilis, ratione tamen ipsius animæ repugnante et reluctante. Unde Apostolus : « Video aliam legem in membris meis, repugnantem legi mentis meæ et trahentem me in legem peccati ». Lex illa dicitur sensualitas, nata ex conjunctione corporis et animæ.

XXXII

Homo interior constat ex duabus naturis, anima scilicet et spiritu, hoc est ex sensualitate et ratione. Sensualitatem quidem solemus appellare inferiorem vim animæ, secundum quod ipsa anima vivificat et sensificat corpus. Rationem quidem diximus superiorem vim animæ, secundum quam ad imaginem Dei facti sumus. Unde psalmista : « Signatum est super nos, etc ». Per quam etiam a brutis animalibus differimus quæ nihil altum sapiunt. In spiritu tres gradus et in anima totidem narrantur.

Primus et summus gradus rationis est solius Dei essentiam subtili intuitu contemplari. Medius est ipsa cœlestia et spiritualia intendere. Ultimus gradus est ipsam animalitati condescendere, ipsamque instruere et docere ista terrena rationabiliter et honeste disponere. Et hic infimus rationis superior est gradus sensualitatis. Convenit autem sensualitati, secundum hunc gradum, rationi ad hæc temporalia gubernanda obedire. Medius gradus est sensualitatis partim rectæ dispositioni temporalium intendere, partim delectationibus carnalibus implicari. Infimus gradus sensualitatis est omnino terrenis voluptatibus involvi.

XXXIII

Quid sit originale peccatum.

Quæritur quid sit originale peccatum, et cur magis ab Adam quam ab aliis parentibus contrahimus originalia peccata.

Peccatum originale est reatus quem contraxit Adam transgrediendo mandatum Dei, dum comedit vetitum pomum. Cujus transgressionis culpa illata est ipsis primis parentibus pœna peccati, non in oculo aut in aliquo alio membro nisi in eo a quo deberet humanum genus propagari, scilicet in virili membro et in vulvæ concupiscentia et in quodam motu illicito. Pro qua concupiscentia et motu illicito primi parentes erubescentes illa membra sola festinaverunt tegere, cum in ceteris membris nihil haberent pudoris. Unde collata est hujus judicii sententia ut quicumque generatur per concupiscentiam, quæ est pœna primi reatus, contrahat etiam in se ipsius reatus maculam et maledictum pro quo debeatur æternæ damnationi, nisi cui subveniat redemptio Christi per baptismum, aut post baptismum per pœnitentiam.

XXXIV

Cur baptismus parentum non prodest filiis.

Quod si quæritur, cum sit baptizatus pater et mater et per baptismum sint abluti ab ipsa culpa, cur non proficit filio ab ipsis generato ipsa baptismatis sanctificatio, respondetur quod pater et mater, non in sanctificatione sui baptismatis ut ipsa sanctificatio sit causa efficiens, generant filium, sed in concu-

piscentia carnis. Unde fit ut cujus generationis causa mala est, ipsum quoque generatum, ex ipsa efficienti causa, malum est. Quare nec Christus respueret procreari secundum carnem a patre, nisi omnis humana procreatio fieret in peccato concupiscentiæ. Unde Verbum Patris ex virgine tantum humanitatem assumpsit sine concupiscentia tam patris quam matris. Sanctus enim Spiritus illum fomitem peccati exstinxit in Maria virgine.

XXXV

Quæritur etiam cur filius quisque non contrahat peccatum omnium parentum suorum sicut contrahit a primo parente.

Ad quod respondetur quod peccata ceterorum parentum non sunt causa concupiscentiæ, quæ nullum aliud peccatum transfundit in suum effectum nisi illud cujus peccati est pœna.

XXXVI

Quæritur, cum ipsa concupiscentia vere sit in parentibus generantibus et non in filio qui gignitur, cur non ita sit perditio ipsa concupiscentia parentibus qui habent eam quam filio qui eam non habet.

Responsio : per sacramentum nuptiarum et propter intentionem gignendi, est ipsa concupiscentia parentibus veniale peccatum, quæ cum sit efficiens causa in filio procreato, per se transducit perditionis effectum.

XXXVII

Quæritur quomodo anima sentiat per quinque sensus. Duobus sensibus sentit anima per instrumentum, ibi ubi non transit instrumentum, ut per oculum videt solem. Sed illuc non transit oculus ubi sol videtur. Remanet enim in capite : a quo si recederet, posthac minime videret. Per aurem foris audit, longe aut prope, sursum aut jusum, cum auris in capite suum retineat locum. Per narem olfactum, per palatum gustum. Per membra tactum non sentit, nisi ibi adsint ipsæ corporis partes per quas sentit.

XXXVIII

Quæritur an anima, dum sit in corpore, præter corporis instrumenta per se sentiat.

Respondetur : postquam anima per prædictos sensus aliquid sensit, veluti per oculum vidit parietem, redit in se et cogitat per se ex quibus partibus constet paries quem vidit. Item tractat per se anima de eo quod tangit, olfacit, gustat, audit ; quod judicium animæ, dum fit de individuis et circa individua corpora, visus appellatur. Cum ipsa individua universaliter considerat, ut quid sit homo universalis, animal, genus, universale corpus, universalis substantia, illud judicium ratio appellatur. Cum vero de Deo et de invisibilibus essentiis tractat, illud judicium intellectus appellatur. Quibus tribus judiciis per se anima utitur.

XXXIX

Quæritur an illa natura humana, quam Deus assumpsit, fuisset potens peccare, necne.

Responsio fuit utique secundum naturam, sed præsentia divinitatis confirmata erat ne peccaret.

XL

De morte Christi.

Credendum est divinam naturam humanæ naturæ in ipsa conceptione unitam, quacumque hora anima conjuncta sit. In morte etiam quando anima a corpore separata fuit, illis separatis, fuit sic divinitas conjuncta et unita ut et illis conjunctis. Per hoc enim quod divinitas corpori unita fuit, non putrefactum nec aliquantulum læsum est in sepulchro. Similiter quia divinitas animæ, etiam in inferno, unita erat, anima illa ab inferno detineri non potuit. Modum autem illius unionis, cum illa divina natura utique sit essentialiter, non possumus videre plene, credere tamen debemus. Est autem illa divina natura, in illa humana natura, aliter et spiritualiter unita et conjuncta quam in aliis rebus in quibus tamen est, sicut verum est totam animam meam in cappa mea contineri et in corpore meo, sed diverso modo. Cappam enim non vivificat, carnem vero vivificat. Nec quærendum est ubi Deus erat antequam mundus constitueretur. Cuidam enim sic quærenti a quodam sapiente sic est responsum : in se ipso erat et damnationem tuam decernebat.

XLI

Secundum divinos, creaturæ dicuntur res proprie positæ in prædicamento substantiæ. Substantiæ vero dicuntur res omnium prædicamentorum in esse suo consideratæ. Similiter naturæ dicuntur omnes res, præter illas quæ discordant a prima constitutione; et in hoc differunt naturæ a substantiis, quia cum substantiæ dicantur res, tantum in esse suo consideratæ, naturæ, in esse suo et secundum habitudines. Cum vero voluntas hominis natura sit discordans a creatore, non remanet natura, sed dicitur perversitas naturæ et talis voluntas dicitur peccatum.

XLII

De Superbia.

Superbia amor propriæ excellentiæ. Hujus sunt quatuor species. Prima est quando aliquis putat se habere bonum Dei quod non habet. Secunda est quando bonum quod habet, a se, non a Deo se habere existimat. Tertia est quando bonum quod habet, a Deo se habere cognoscit, sed tamen pro meritis suis. Quarta est quando a Deo omnia credit habere, nec pro meritis suis, sed tamen se meliorem quam alios credit.

Ex superbia autem nascitur invidia. Nisi enim aliquis propriam excellentiam diligeret, nunquam alicui invideret. Est autem invidia odium alienæ felicitatis. Hæc vero tribus modis consideratur : aut circa inferiores, quando aliquis timet ne sibi coæquentur; aut circa superiores, moleste ferendo quod eis non coæquetur; aut contra pares, dolendo quod jam coæquentur.

Ex invidia nascitur detractio. Detractio namque est locutio ex invidia procedens.

Hæc autem fit, aut quando bona alicujus si negare licet negat, aut si non licet pervertit ; vel quando mala alicujus ad ejus depressionem narrat. Est autem genus locutionis de quo dubium est an sit malum et ideo vitandum, quando videlicet de eo quem diligo, cum aliquo meo familiari, mala ejus referendo colloquor, ex quadam compassione et dolore, ita quidem ut nolim quod ille cum quo loquor hoc ei referat.

Nam si vellem quod ille ad correctionem ei convenienter referret, aut ut ille cum quo loquor mala consimilia vitaret, evidenter bonum esset (1). Qui se aut alium laudat propter gloriam Dei et propter utilitatem proximorum, ut Paulus, aut propter consolationem sui, ut Job, non peccat. Qui autem, propter se aut alterius gloriam, se aut alium laudat, idolatra est quia quod est creatoris creaturæ attribuit, cum omnia dicta aut facta nostra et aliorum ad gloriam Dei tantum sint referenda.

XLIII

De conjugiis.

De conjugiis tractantibus prius sunt consideranda illa tria bona conjugii quæ beatus Augustinus enumerat. Venit secundum varias temporum institutiones quæ de illis bonis intendantur et quæ non et qua de causa, et quid addatur et qua de causa. Tertio diversa capitula sunt ponenda in quibus videatur si sit conjugium an non. Quarto quæ sint causæ solvendi conjugii, et quibus post solutionem liceat ducere et nubere, et

(1) Nous tirons du manuscrit de Paris la fin de ce morceau, qui est incomplet dans le manuscrit de Troyes.

quibus non. Quinto an conjugium sit præceptio an permissio.

Dicit itaque Augustinus *super Genesim* : Tripartitum est bonum nuptiarum, id est proles, fides, sacramentum. In fide attenditur ne præter vinculum conjugale cum altero aut cum altera copuletur et concumbat. In prole ut amanter suscipiatur, benigne nutriatur, religiose educetur. In sacramento ut conjugium non separetur atque dimissus aut dimissa, nec causa prolis, alteri conjungatur.

In Paradiso vero, conjugii copula principium habuit quando Deus adjutorium Adæ, ei simile, de costa ejus Evam produxit ut procrearet filios et filias donec, completo sanctorum numero, cum omni prosteritate sua, nisi peccarent, in angelicam formam, ut dicit Augustinus, non per carnis mortem, sed per Dei voluntatem mutarentur.

Poterant etiam, si in prima felicitate permansissent non peccantes, actum conjugii sine libidinis ardore exercere atque, sicut idem Augustinus testatur, ita genitalibus membris sicut ceteris sine libidine imperare. Et quia duo tantum erant, nulla lex cognationis erat eis imponenda. Talia quoque status et naturæ erant ut in eorum conjugii causa hæc tria bona essent, ita ut nulla necessitas aliquid addere aut diminuere compelleret.

Post peccatum vero, post quod de Paradiso sunt ejecti eorumque natura corrupta, sine libidine officium generandi exercere non poterant : eadem ipsis bona conjugii remanserunt, filiis vero illorum eadem quoque fortasse bona permanserunt.

De illis tunc usque ad Abraham nullam institutionem habemus, nisi quidem legimus Deum propter hoc diluvium fecisse quia filii Dei videntes filias hominum quod essent pulchræ, accipiebant sibi uxores ex omnibus quas elegerant. Quod ita exponendum. Filii Dei dicuntur filii Seth cujus generatio debebat Deo placere, filiæ hominum filiæ Caïn cujus generatio prava erat ; atque ideo nolebat Deus ut filii Seth commiscerentur illis, quia viri per malas mulieres ad malum trahe-

bantur. Unde concipitur quod jam ex illo tempore displicebat Deo quod fidelis infideli matrimonio jungeretur, quia ab illo potius videbatur sola carnalis delectatio expeti quam illa tria bona conjugii.

Abraham vero ex sua generatione suscepit Saram quia ipsa et fidelis erat et leviter fidelis esse poterat. Quæ, cum esset sterilis, voluit ut vir suus conveniret cum ancilla sua Agar ut gigneret. Quod cum ille fecisset, licet hoc sua uxor voluisset, in eo tamen periit bonum conjugii, scilicet fides, quia cum altera concubuit. Quod similiter factum in Jacob, quia duas uxores habuit et cum ancillis earum dormivit : quod ideo eis permittebatur ut populus Dei unius augeretur, qui ex paucis postea multiplicatus. Sacramentum quoque in illis antiquis periit qui se invicem dimittebant, dato libello repudii, propter fœditatem aut aliquid tale et aliis se copulabant. Quod sicut et quædam alia, propter eorum duritiam, quia forsitan eas necarent, Moyses permisit illis, ut Christus ipse testatur.

Sed postquam Christus venit, alio modo institutum est conjugium. Nam, cum jam in nostris temporibus, ad implendum sanctorum numerum, sicut Augustinus dicit, largissima copia suppetat, jam non est opus nuptiis propter prolem. Et cum ante tempus Christi non legamus laudari virgines, maxime nunc laudatur virginitas quia non est opus prole. Causa tamen vitandæ fornicationis, qui continere non possunt conjugium faciunt. Quæ omnia beatus Augustinus dicit his verbis : « Non itaque video ad quod adjutorium aliud mulier sit facta viro, si causa generandi subtrahatur, quæ causa nihilominus quare subtrahatur ignoro. Unde itaque magnum meritum pia virginitas apud Deum habet, nisi quia jam ex omnibus gentibus ad implendum sanctorum numerum largissima suppetat copia? Percipiendæ sordidæ voluptatis nunc sibi vindicat libido quod jam sufficiendæ prolis necessitudo non postulat : denique utriusque sexus infirmitas propendens in ruinam turpitudinis

recte excipitur honestate nuptiarum, ut quod sanis possit esse officium sit ægrotis remedium ».

Ex his verbis Augustini concipitur quia causa vitandæ fornicationis ad conjugium sufficit, etiamsi spes prolis non adsit. Et quia ex multis et diversis gentibus Ecclesia erat collecta, non fuit necesse ut viri modo acciperent suas cognatas, sed propter amplificationem caritatis et decorem Ecclesiæ, institutum est ut ubi naturalis dilectio est, sicut in consanguineis, id est compatribus, ibi non fieret conjugium sed inter extraneos.

Ut igitur breviter dicamus, primi parentes servaverunt illa tria, nec in eis lex matrimonii fuit restricta ; posteri vero aliqui nec fidem, nec sacramentum servaverunt, ut per multitudinem prolis cultum unius Dei augmentarent. Quibus, ne a fide recederent, interdicta sunt eis alienigenarum connubia; et ideo de proximis ducebant uxores. Quod si forte alienigenas aliqui ducerent, poterant fortasse aut illas ad cultum Dei adducere, ut Joseph, aut per illas inimicos Dei aliquo modo infestare, ut Samson Philisteos.

Nostris vero temporibus, illa tria videntur observari nisi quidem aliquando causa vitandæ fornicationis, non causa prolis interest ; et sacramentum, ut aliquando inferius patebit, videtur non servari.

Interdictum est conjugium, etiam propter caritatis amplificationem, in cognatis et compatribus et paternis et maternis, cum filiabus compatrum propter quos aut quas compatres facti sunt et qui postea nati sunt. Ab illis qui sunt in sacris ordinibus non fieri conjugium judicatur. In quo notandum est quod non dicitur *non debere fieri*, sed *non fieri* ; et ideo juste a se recedunt.

Cognati usque ad septimum gradum, sive prius sciant cognationem, sive non, separandi sunt ; et illi qui habuerint rem cum aliqua de genere alterius antequam conjungerentur.

Patrinus filiola et ille qui illam ducit quam aliquis de sua cognatione in suam suscepit, sive cum illa ille prius dormierit, sive non, separandus est indubitanter et sic alii supra determinati. Sciendum tamen quod si quis veritatem consideraverit, in omnibus his esse confitendum et conjugium ; sed quia fit illicite, ideo tenendum non est. Nisi enim hujusmodi essent conjugia, videretur Gregorius Anglis, etiam quibusdam subdiaconis, ad tempus permisisse potius fornicationem et incestum quam conjugium. Confiteri igitur debemus hæc omnia esse conjugia ; sed secundum diversas Ecclesiæ institutiones nunc licere, nunc non licere.

Nunc dicenda est causa separationis, quæ una tantum dicta est a Domino Jesu, fornicatio scilicet, et propterea quidam dicunt, sed non bene, illa superiora non esse conjugia, quia cum separatio fit, non fit, causa fornicationis. Sed quicumque seriem litteræ, in qua illud a Domino dictum est, voluerit perscrutari, inveniet Deum disputantem in libello repudii de conjugiis contra Judæos (qui licite cum carnali commutatione esse poterat), hoc dixisse ut separatio non fieret, nisi sola ista causa intercederet.

Cum carnali commixtione ideo dixi, quia sunt quidam qui inter se non possunt commisceri, possint tamen cum aliis ; et ideo si nunquam convenerunt separantur, et iste ducit aliam et ista nubit alii.

Dicendum est igitur, si istam sententiam tenere volumus, multas esse causas separationis scilicet fornicationem, ordines sacros, consanguinitatem, institutionem, frigiditatem, etc. Sterilitas autem non est causa discidii.

De singulis igitur tractantes ostendamus in quibus possint fieri aliæ nuptiæ. Fornicatio, alia cum incestu, alia sine incestu. Fornicatio sine incestu, si præcesserit conjugium et post conjugium cognita fuerit, non facit discidium. Unde ille qui conjugem suam post acceptionem statim invenit ab alio prognantem

non ideo debet eam dimittere, quia si in copula invenisset eam non virginem, non ideo posset eam relinquere. Si enim puerum habet in ventrem, ipse puer nullum pondus habet ad discidium plus quam fornicatio sine conceptu.

Si vero post conjugium fornicatio secuta fuerit, si comprobatio manifesta fuerit, potest fieri discidium ; sed altero vivente, neuter copulabitur alicui ; altero mortuo, alter solvitur et potest copulari. Si tamen consenserint, accepta pœnitentia poterunt cohabitare. Item incestus alius præcessit nuptias, alius secutus est.

Incestum hic accipio quando aliquis concubuit cum aliqua de genere illius quam duxit, aut aliqua cum aliquo de genere illius cui nupsit. Si ergo prius concubuit, necessaria est disjunctio ; et ille ducet alium et illa nubet alii. Sed quia concubuit, difficile et periculosum est probare. Si autem postea concubuerit, fiet solutio, et nec ille ducet, nec illa nubet.

Inter simplicem fornicationem et hunc posteriorem modum, scilicet incestum, hoc interest quod ibi est disjunctio voluntaria tantum, hic necessaria.

Cognatio postquam est cognita exigit separationem atque licet aliis copulari.

Ordo, qui est in consecratis ministerio altaris, exigit separationem, nullamque permittit copulam carnalem.

Institutio vero, quæ est propter spiritualem caritatem, compatrum, patrinorum et ceterorum prædictorum exigit separationem atque licet aliis copulari.

Frigiditas, in his qui inter se convenire non possunt, patitur separationem si nunquam convenerunt, et alias nuptias.

Patet itaque quæ exigant et quæ patiantur et quibus liceat et quibus non liceat.

Dicunt quidam quod conjugium præceptum est facere primis parentibus propter humanum genus propagandum ; posteris vero diu præceptum est, tandem vero permissum.

Sed melius videtur quod permissum sit et primis et pos-

teris. Poterat enim Deus alio modo propagare gentem, sed hoc modo permisit. Si enim esset præceptum, videretur quod omnes deberent facere ; sed multi non fecerunt, ut Helias et Jeremias et quidam alii. Unde quia permissum est, diversis modis secundum varietatem temporum et hominum, institutum est. Dicatur itaque, si placet, variabile secundum diversos mores, ad decorem et utilitatem Ecclesiæ sanctæ dispensandum.

Quæritur si, post fidem datam alteri, aliquis cum aliqua fecerit conjugium, an tenendum sit.

Ad quod respondetur quod fides duobus modis consideratur: fides pactionis et fides conjugii ; fides pactionis qua promittit quod eam recipiet in suam, fides conjugii qua comi assensu accepit eam in suam, sive in solemnibus, sive ante. Si quis vero præterierit illam simplicem fidem pactionis et aliam duxerit, quam duxit teneat et de fide pœnitentiam agat. Fidem vero conjugii nullo modo potest negligere et si aliam duxerit, necessario illam dimittet et priorem suam ducet. Et hoc qui non servat anathema est.

XLIV

Quæritur quo modo homines dicantur concipi et nasci in peccatis, illi silicet qui ex justo viro et justa muliere sunt generati, quod in psalmista notatur dicente : « Ecce enim in iniquitatibus conceptus sum, etc ».

Respondetur. Deus omnipotens sic primos homines creavit ut si in obedientia permanerent, sine omni concupiscentia edendi et bibendi et cetera omni concupiscentia viverent. Quia vero inobedientes fuerunt, concupiscentiam, qua prius caruerant irruperunt. Licet autem Dei gratia originale peccatum sit deletum, effectus tamen ipsius, concupiscentia scilicet cum morte corporali, pœna ejusdem peccati, in omnibus remansit, ita tamen quod illa concupiscentia in justis peccatum non fuit.

Quia vero ex illa sunt injusti, homines concipiuntur in iniquitatibus et peccatis. Si vero aliquos movet quomodo ex justis, destructo in eis originali peccato, filii cum originali peccato nascuntur, considerent quod grana sine paleis seminantur, tamen ex eis alia grana nascuntur atque est rei veritas quod oriuntur cum paleis. Et hoc exemplum ad hoc beatus Augustinus adducit.

XLV

Prophetia interpretatur visio, non tamen quælibet visio, sed secundum usum nostrum, dicitur prophetia occulta visio et quæ ex Deo et quæ non solum de futuro, sed de quibuslibet temporibus. Sic autem describitur.

Prophetia est divina inspiratio quæ per dicta et facta, eventus rerum immobili veritate pronuntiat. Hæc autem descriptio scilicet de visione quæ est in anima et de voce et de scriptura, quoquo modo potest intelligi et figurate exponi.

Sed quia cetera satis manifesta sunt, illud consideremus quomodo immobili veritate pronuntiet, cum de Isaia legatur quod dixerit ad Ezechiam ægrotantem : « Dispone domui tuæ, quia morieris tu et non vives » (1) ; et postea cum rex conversus ad parietem flevisset et orasset, eodem Isaia nuntiante, addidit ei Dominus ad vitam ter quinos annos.

De Jona etiam dicitur quod prædicaverit Ninivitis : « Adhuc XL dies et Ninive subvertetur » (2) ; et tamen postea, ante XL dies, Ninivitæ misericordiam per pœnitentiam assecuti sunt.

Sed dicendum est quod prophetæ in illo libro prescientiæ Dei ubi omnia scripta sunt legentes non omnia percipiebant, sed quædam et eo modo quod Deus permittebat. Legerat

(1) Isaias, c. XXXVIII, v. 1.
(2) Jonas, c. III, v. 4.

enim Isaias in illo libro quod rex Ezechias, secundum opera quæ fecerat, longiorem non merebatur vitam et, secundum rei physicam, habere non poterat ; sed non legerat quod per lacrimas et orationes esset impetraturus. Legerat similiter Jonas, in eodem libro, quod Ninivitarum nequitia, secundum quod agebant, quadragesimo die complenda erat et ita civitas eorum erat destruenda; sed illud non legerat quod, per suam comminationem, essent acturi pœnitentiam et ita misericordiam assecuturi.

Uterque igitur secundum quod legit prædicavit atque quantum ad eos pertinebat, incommutabilis erat veritas, quare neminem fallere intendebant. Dicit enim Augustinus : « Quicumque sic credit ut loquitur, etsi non vera loquitur, tamen fideliter loquitur ».

Deus quidem, ut Gregorius dicit, sententiam mutat, sed consilium non mutat. Sententiam autem debemus intelligere sensum verborum. Consilium vero ejus ab æterno dispositio est. Sententiam vero Deus prophetis suis revelaverat non tamen consilium, sed ut eorum comminationibus incuteret pœnitentiam populis suis et sic eorum misereretur.

Videtur tamen quod ea verba quæ dixerunt non legissent in libro vitæ. Cum enim Isaias simpliciter diceret : « Morieris et non vives » ; atque Jonas : « Ninive subvertetur » ; et ista non essent futura, non videntur illa fuisse de libro Dei quia non erant futura.

Sed sciendum est quia Deus duobus modis aliquas res considerat, scilicet secundum merita et secundum rei naturam quæ dicuntur causæ esse inferiores, et secundum suum consilium, ut de Ezechia. Moriturum namque Deus eum providerat, secundum meritum et secundum physicam, licet non esset futurum ; et non moriturum, secundum suum consilium. Utrumque igitur erat scriptum in libro vitæ, sed alterum suo prophetæ permisit legendum, alterum non. Quod quidem permissum est illud dixit.

Nec est deceptus quia sic legit, nec est mentitus quia sic credidit, et secundum illas inferiores causas locutus est aliquis simpliciter et sine additamento. Si quis videre reciperet, ille tamen non mentiretur quia rei physicam esset secutus.

Eodem modo et Jonas subversionem Ninivitarum vidit in mente divina, quæ tamen futura non erat, quia illud quod vidit secundum merita eorum vidit. Quod vero subversi non sunt consilio Dei fuit, quod ipse non vidit.

Quæritur, cum boni et mali prophetizent, quo spiritu hoc faciant. Videtur enim quod omnis prophetia per Spiritum sanctum fiat ; sed ex alia parte, Spiritus sanctus per os infidele loqui non debet. Malignus vero spiritus mysteria Dei quomodo aut scire aut revelare auderet ?

Sed sciendum quod boni et quidam mali ex Spiritu sancto prophetizant ; boni quidem et propter bonam vitam ut Helias, et propter bonam vitam et officium ut Jeremias ; mali vero propter officium suum solum ex Spiritu sancto prophetizant ut Caïphas, qui erat pontifex aut sacerdos. Alii vero mali quia nec eos vita commendat, nec dignitas officii, pythonico spiritu dicuntur prophetizare, permissione tamen et coactione Spiritus sancti qui omni prophetiæ præest, ut Balaam et Sibylla.

XLVI

Caritas est ad diligendum Deum motus animi propter Deum, atque se et proximum propter Deum. Deum enim debemus diligere, non propter aliquod præmium quod ab eo expectemus, sed propter ipsum solum. Cui ut serviamus desiderare debemus, sicut superius determinatum est, et hoc tota anima, mente, totis viribus et tota voluntate, memoria et potentia nostra.

Seipsum quoque diligere propter Deum unusquisque debet, et ad hoc tantum ut Deum diligat et ei serviat. Sed quia ista caritas quæ est ad Deum, manifesta aut perfecta esse non potest nisi ex operibus comprobetur, dicit itaque Gregorius : « Probatio dilectionis est exhibitio operis » ; necesse est sequi opera quæ propter Deum circa proximos exhibeantur. Unde legitur : « Diliges proximum tuum sicut teipsum », et hoc propter Deum, id est ut servitium Dei ab eo compleatur.

Diligere autem aliquis debet proximum sicut se. Istud *sicut* similitudinem significat non quantitatem, id est ut sicut seipsum diligit ad serviendum Deo, ad idem diligat proximum.

Non itaque peccatum esse judicare audeo si minor sit effectus circa alium, cum duo sint in caritate : affectus scilicet et effectus. Affectum debemus omnibus, quem si alicui denegamus, damnationem incurrimus ; sed effectum licet non omnibus dare. Unde concessum est in Veteri Testamento odisse inimicos, sed subtrahendo ab eis opus caritatis, non affectum.

Quod si est tantus, tanto est illud perfectius : eisdem et proximis opera bona, spiritualia et corporalia, propter Deum debemus impendere.

Spiritualia, ut admonitiones, consilia, prædicationes quæ omnia prælati publice et privatim in suis parochiis facere debent. In aliis non nisi præmissi nec ulli debent negare, nisi cum discretione et caritate ad tempus providenter subtrahant. Scriptum est itaque : « Nolite spiritum dare canibus ».

Corporalia vero quæcumque sunt nobis ultra necessitatem debemus proximis impendere. Qui enim dixit : « Qui habet duas tantum, etc. », non dixit « unam tantum », licet perfectior esset qui etiam sua necessaria divideret proximo indigenti.

In quibus tamen omnibus ordinatio caritatis consideratur ut scilicet si necesse sit, potius parentibus, scilicet fratribus, amicis carnalibus, familiaribus, vicinis, compatriotis, nostra, propter

Deum tantum, tribuamus. Unde quoque dicitur : « Ordinavi in me caritatem ».

Dubitari vero solet : utrum dilectio Dei præcedat temporaliter dilectionem proximi, quod per hoc videtur quod proximum propter Deum diligere non possumus nisi prius ipsum diligamus ; an dilectio proximi præcedat dilectionem Dei, cum scriptum sit : « Qui non diligit fratrem suum, etc ».

Sed sciendum est quod duobus modis dilectio Dei consideratur, scilicet incipiens et nutrita. Incipit enim homo diligere Deum antequam proximum. Sed quia illa dilectio non potest perfici nisi nutriatur et crescat per dilectionem proximi, oportet ut proximus diligatur. Sic ergo dilectio Dei præcedit, ut incipiens ; atque præceditur a dilectione proximi, ut illa nutrienda.

XLVII.

Quæritur, cum peccatum non sit nisi ex voluntate, si contigerit aliquem ita quod nescierit hominem occidere, si ei apud Deum reputandum fuerit.

Respondetur : si pro lascivia lapidem ejecerit et eo aliquem, et si noluerit, occiderit, quia tamen ex mala voluntate *non* processit, pro homicidio ei reputabitur. Sed si in aliquo bono negotio intentus aliquem occiderit, ut cementarius aut carpentarius, ei non reputabitur apud Deum pro homicidio. Si tamen occisor fuerit clericus, ne inter homines oriantur scandala, ad ordines non promovebitur ultra.

TABLE

Pages

Les variations de Guillaume de Champeaux et la question des universaux 1

Guillelmi Campellensis sententiæ vel quæstiones (Les Sentences) . . 19

I. — De essentia Dei, et substantia Dei, et de tribus ejus personis 21

II. — De creatione angeli et hominis, et de libero arbitrio eis attributo, et quid sit prædestinatio 28

III. — Quod liberum arbitrium depressum est in angelo et in homine 30

IV. — De ligno scientiæ boni et mali, et de originali peccato, vel quare puniatur anima 31

V. — Quod duæ naturæ constituunt unam Christi personam . 34

VI. — De anima Christi a corpore separata 35

VII. — Quod Christus de munda carne sine peccato natus . . . 36

VIII. — De tribus timoribus 36

IX. — De duabus potentiis animæ, et de utilitate adventus Christi 38

X. — De naturali et scripta lege, et quod, veritate veniente, figura cessavit, et quod Christus semel oblatus saluti totius mundi suffecit 40

XI. — *De perceptione Eucharistiæ* (1) 43

XII. — *De corpore Christi* 44

XIII. — *De providentia Dei* 45

XIV. — Iterum de providentia Dei 47

XV. — *Iterum de providentia Dei* 49

XVI. — *De speciebus quæ Spiritum sanctum significabant* 49

XVII. — De pœna parvulorum 50

XVIII. — De simonia 50

XIX. — *Quid dicatur hæresis* 54

XX. — *Quid sit peccatum* 54

(1) Les titres imprimés en italiques ne se trouvent pas dans les manuscrits.

Pages

XXI. — *Quid sit malum* 55
XXII. — *De originali peccato* 56
XXIII. — *Iterum de originali peccato* 56
XXIV. — *De fomite originalis peccati* 57
XXV. — *De originali peccato* 57
XXVI. — *De concupiscentia* 58
XXVII. — *De originali peccato* 58
XXVIII. — *Iterum de originali peccato* 59
XXIX. — *De effectu baptismi* 59
XXX. — *De concupiscentia* 60
XXXI. — *Iterum de concupiscentia* 61
XXXII. — *De homine interiore* 62
XXXIII. — Quid sit originale peccatum 63
XXXIV. — Cur baptismus parentum non prodest filiis 63
XXXV. — *Cur filius non contrahit peccatum omnium parentum suorum* 64
XXXVI. — *Cur non est perditio ipsa concupiscentia parentibus* . . . 64
XXXVII. — *Quomodo anima sentiat per quinque sensus* 65
XXXVIII. — *Quæritur an anima per se sentiat* 65
XXXIX. — *De illa natura humana quam Deus assumpsit* 66
XL. — *De morte Christi* 66
XLI. — *De naturis et substantiis* 67
XLII. — De superbia 67
XLIII. — De conjugiis 68
XLIV. — *Quomodo homines dicuntur concipi et nasci in peccatis* . 74
XLV. — *De prophetia* 75
XLVI. — *De caritate* 77
XLVII. — *De eo cui nolenti contigerit hominem occidere* 79

Lille, Imprimerie Le Bigot Frères, rue Nicolas-Leblanc, 25.

TRAVAUX ET MÉMOIRES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME I

N° 1. — P. PAINLEVÉ : *Transformations des fonctions* V (x, y, z) qui *satisfont à l'équation* $\Delta V = 0$. 1 fr. 75

N° 2. — P. DUHEM : *Des corps diamagnétiques.* 3 fr. 50

N° 3. — P. FABRE : LE POLYPTYQUE DU CHANOINE BENOIT — *Étude sur un Manuscrit de la Bibliothèque de Cambrai* — avec une reproduction en phototypie sur papier de Hollande. 3 fr. 50

N° 4. — A. et P. BUISINE : *La Cire des Abeilles* (Analyse et falsifications). 4 fr.

N° 5. — P. DUHEM : *Sur la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux* (avec figures). 3 fr. 50

TOME II

N° 6. — C. EG. BERTRAND : *Remarques sur le Lépidodendron Hartcourtii de Witham* (avec 10 planches). 10 fr.

N° 7. — E. BARTIN : *Etudes sur le régime dotal.* 3 fr.

N° 8. — P. DUHEM : *Sur la dissociation dans les systèmes qui renferment un mélange de gaz parfaits.* 6 fr.

N° 9. — P. HALLEZ : *Morphogénie générale et affinités des Turbellariés.* 2 fr.

TOME III

N° 10. — M. DUFOUR : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (1re Série). 4 fr.

N° 11. — P. DUHEM : *Dissolutions et mélanges.* 1er Mémoire : *Équilibre et mouvement des fluides mélangés.* 4 fr. 50

N° 12. — P. DUHEM : *Dissolutions et mélanges.* 2e Mémoire : *Propriétés physiques des dissolutions.* 4 fr. 50

N° 13. — P. DUHEM : *Dissolutions et mélanges.* 3e Mémoire : *Les mélanges doubles.* 4 fr. 50

N° 14. — M. DUFOUR : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (2e Série). 2 fr. 50

TOME IV

N° 15. — A. PINLOCHE : *Principales œuvres pédagogiques de* HERBART. *Pédagogie générale — Esquisse de leçons pédagogiques — (aphorismes et extraits divers).* 7 fr. 50

N° 16. — B. BRUNHES : *Sur le principe de Huygens et sur quelques conséquences du théorème de Kirchhoff.* 3 fr. 50

N° 17. — M. DUFOUR : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (3e Série). 2 fr. 50

TOME V

N° 18. — A. PENJON : *Pensée et réalité d'A. Spir*, traduit sur la 3e édition. 10 fr.

TOME VI

N° 19. — R. SWYNGEDAUW : *Étude expérimentale et théorique de la décharge dérivée d'un condensateur.* 2 fr.

N° 20. — G. LEFÈVRE : *Les variations de Guillaume de Champeaux et la question des Universaux : Etude suivie de documents originaux.* 3 fr.

Atlas N° 1. — F. TOURNEUX : *Album d'embryologie. Développement des organes génito-urinaires chez l'homme.* 40 fr.

Atlas N° 2. — J. FLAMMERMONT : *Album paléographique du Nord de la France.* 20 fr.

21

TRAVAUX & MÉMOIRES

DE

L'UNIVERSITÉ DE LILLE

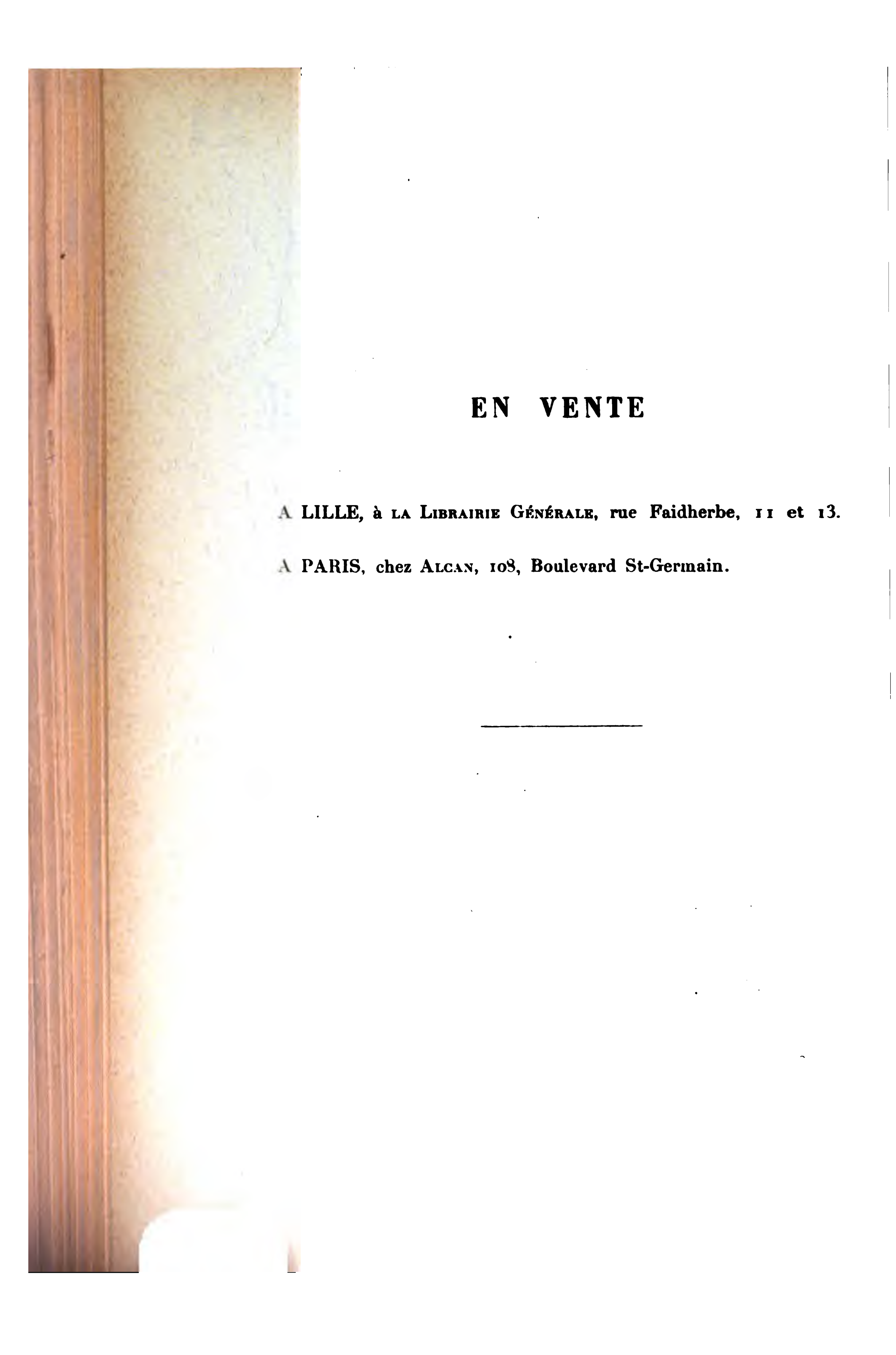
TOME VI. — Mémoire N° 21.

C. EG. BERTRAND. — Les charbons humiques et les charbons de purins.



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898



EN VENTE

A LILLE, à la Librairie Générale, rue Faidherbe, 11 et 13.

A PARIS, chez Alcan, 108, Boulevard St-Germain.

TRAVAUX & MÉMOIRES

DE

L'UNIVERSITÉ DE LILLE

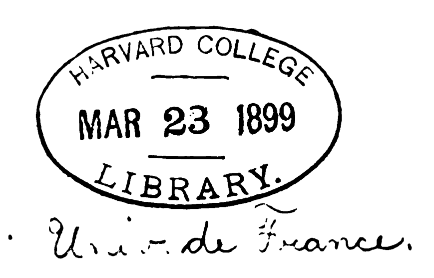
TOME VI. — Mémoire N° 21.

C. EG. BERTRAND. — Les charbons humiques et les charbons de purins.



LILLE
AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898



Le Conseil de l'Université de Lille a ordonné l'impression de ce mémoire, le 20 juillet 1898.

L'impression a été achevée, chez LE BIGOT FRÈRES, *le 30 octobre 1898.*

LES

CHARBONS HUMIQUES

ET LES

CHARBONS DE PURINS

PAR

C. EG. BERTRAND

TRAVAUX ET MÉMOIRES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

TOME VI. — MÉMOIRE N° 21.



LILLE

AU SIÈGE DE L'UNIVERSITÉ, RUE JEAN-BART

1898

LES CHARBONS HUMIQUES

ET

LES CHARBONS DE PURINS

PAR C. EG. BERTRAND

PROFESSEUR DE BOTANIQUE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE LILLE

INTRODUCTION

§ I. — *Résultats acquis par mes travaux antérieurs sur les charbons d'algues.*

Dans une série de mémoires antérieurs, j'ai montré soit seul, soit en collaboration avec mon excellent ami M. B. Renault, qu'il y a des *Charbons d'algues*, c'est-à-dire des accumulations de matières organiques produites par l'empilement de végétaux inférieurs, tels que ceux qui flottent dans l'eau superficielle de nos mares et de nos lacs. Ce sont les *bogheads* de l'Industrie. — Les *cannels* contiennent aussi des algues, mais les corps de ces algues n'y sont plus la matière dominante du charbon.

Les charbons d'algues nous ont d'abord appris que certaines accumulations végétales se sont faites avec une rapidité prodigieuse sans forêts et sans transports. — Quelques belles journées amenaient un développement plus abondant des *fleurs d'eau* dans l'eau brune des mares anthracigènes. Bientôt les

algues tombaient avec la gelée humique, et la formation schisteuse reprenait son cours. J'ai pu démontrer, par exemple, que la couche de *Reinschia australis* de 5 mètres d'épaisseur, dont la solidification a donné le Kerosene shale d'Hartley, s'était formée d'une manière continue en une seule période, au temps des basses eaux ; c'est-à-dire en moins d'une saison. Il en a été de même pour la nappe de *Pila bibractensis* qui a donné la grande couche du boghead d'Autun.

Un second résultat est sorti de la constatation de la présence des Reinschias et des Pilas dans les bogheads, c'est que, contrairement à toute attente, la conservation d'organismes aussi délicats et aussi sensibles à l'action des fermentations que le sont nos algues flottantes était, dans certaines conditions, un fait régulier et normal. Le nombre des algues ainsi conservées s'accroît rapidement. Il est reconnu aujourd'hui que c'était là un mode courant de fossilisation des algues gélosiques dans la gelée brune en présence du bitume. Les corps jaunes d'un grand nombre de charbons ont cette origine. L'accumulation des carbures d'hydrogène qu'ils contiennent s'est faite sur un substratum organisé. Dans le cas des bogheads il a été possible de lire sur ce substratum la structure des algues génératrices ; on a pu y suivre leur développement. — En même temps qu'il nous faisait connaître un nouveau mode de fossilisation, ce second résultat a clos les discussions qui, depuis soixante ans, partageaient les micrographes sur la nature des corps jaunes des charbons.

Les charbons d'algues nous ont montré pour la première fois le rôle des infiniment petits dans la formation de quelques roches charbonneuses. — Ils nous ont donné enfin la première justification expérimentale de cette idée qu'aux variantes d'aspect que l'industrie minière sait reconnaître dans les charbons correspondent des différences de structure que

le botaniste peut lire. Elles lui permettent parfois de caractériser les charbons avec une telle précision qu'il peut en retracer la genèse.

Dans ces premiers travaux, je m'étais surtout appliqué à mettre en relief la présence des algues flottantes, leur structure, et la rapidité de leur accumulation.

Les charbons d'algues nous ont appris encore quelques autres faits que je me contentais d'indiquer, les laissant au second plan :

L'accumulation des algues s'était faite dans une gelée brune humique qui ne manque dans aucun des charbons que j'ai étudiés. Je l'ai désignée sous le nom de *gelée fondamentale.* Elle se continue directement avec la trame des schistes organiques.

L'accumulation organique a été soumise à une imprégnation bitumineuse. L'arrivée du bitume a été tardive dans les trois bogheads classiques, le *kerosene shale*, le *boghead d'Autun* et la *Torbanite*.

Pendant les périodes particulièrement tranquilles où se développaient les fleurs d'eau, il se produisait des *pluies de soufre*, qui saupoudraient les mares à charbon. Spores et pollen macérés, mais non humifiés, tombaient avec les algues dans la gelée brune et y donnaient une seconde catégorie de corps jaunes, des corps jaunes d'origine cellulosique.

Dans ce milieu végéto-humique soumis à l'imprégnation bitumineuse, la production des diverses variétés de charbons qu'on trouve associés dans les houilles : *charbon brillant craquelé*, *fusain*, etc., était régulière et normale. Elle dépendait de la capacité élective des tissus végétaux diversement humifiés pour le bitume imprégnant.

Les charbons d'algues ne sont que des incidents au cours de la formation de schistes organiques. Tant que l'algue géné-

ratrice se retrouve dans le schiste, l'incident pouvait se reproduire.

Depuis, dans une série de notes et de conférences, j'ai mis plus en relief d'une part la matière formatrice des charbons d'algues et d'autre part le résultat de l'intervention bitumineuse.

La matière dominante des charbons d'algues, celle qui forme la plus grande partie de leur volume et qui leur a donné leurs caractéristiques principales est la *gélose*. Par là les bogheads mériteraient le nom de *charbons gélosiques*. En devenant substratum de carbures d'hydrogène, chaque globule de gélose a donné un corps jaune transparent à cassure vitreuse. Dès lors un boghead est un charbon caractérisé par la prédominance de ses corps jaunes. La nature gélosique de ceux-ci leur a permis de localiser et de retenir certains carbures plus éclairants. De là : et la composition spéciale de ces bogheads riches en gaz éclairants, et leur aspect macroscopique. En particulier leur cassure verticale est satinée parce que chaque masse vitreuse de gélose fossilisée est séparée de ses voisines par un mince filet de charbon plus terne dérivé de la gelée fondamentale.

D'autre part l'état de contraction de la gélose relevé dans les bogheads est très faible, 2,6 à 4,0 sur la verticale ; 1,3 à 2,6 horizontalement, soit une condensation totale comprise entre 7 et 24. Or la gélose des algues flottantes n'est presque jamais aussi condensée que celle du *Gleotrichia natans*, dont les boules tombent lourdement au fond de l'eau dès qu'on les détache de leur support. Sur 1000 parties de matière vivante, *Gleotrichia* contient 15 de matière sèche et 985 parties d'eau, c'est une gelée aqueuse de gélose à 0,015 (1). La contraction des algues du boghead se fut-elle faite sans perte de carbone, c'est-à-dire

(1) Dans le *Nostoc commune* qui vit sur la terre humide, et dont la consistance est exceptionnellement forte, la matière vivante est une gelée gélosique à 0,030.

sans émission d'anhydride carbonique ou de formène, ce qui est invraisemblable, n'eût-elle été produite que par une perte d'eau réduisant leur volume au $\frac{1}{7}$ ou au $\frac{1}{24}$ de sa valeur primitive, il en serait résulté une gelée gélosique titrant de 0,105 à 0,360 (1). Or, la gélose solide du commerce contient encore 215 parties d'eau et ne titre que 0,785. La contraction d'un Reinschia ou d'un Pila par perte d'eau réduisant son volume au $\frac{1}{24}$ ne suffit donc pas à le transformer en une masse d'hydrocarbures. Elle ne rend pas compte de la masse d'hydrocarbures solidifiés dans les bogheads. On est ainsi amené à cette notion qui me paraît capitale dans l'histoire des charbons, à savoir que la *gélose d'un thalle n'a pas fourni, à elle seule, la totalité de la matière hydrocarbonée que nous trouvons dans le corps jaune donné par ce thalle. Elle a été enrichie par des hydrocarbures venant du dehors.* Les protoplastes de l'algue étant teintés en brun alors que sa gélose est à l'état de corps jaune d'or, on peut affirmer qu'il s'est exercé des actions électives; et je suis amené à dire aussi, que *si la matière de l'algue apporte sa contribution au boghead, c'est surtout comme support condensant et retenant les carbures amenés par l'injection bitumineuse.* Nulle part en effet, dans les bogheads que j'ai décrits, je n'ai vu les algues en destruction donnant des hydrocarbures. On aperçoit au contraire très nettement l'injection bitumineuse dans ces mêmes charbons. Le fait est tout particulièrement facile à constater dans les nodules siliceux du boghead d'Autun.

Les charbons d'algues nous ont de plus donné la notion d'un *charbon à corps accidentel dominant.* En effet, malgré l'importance de son rôle dans les charbons d'algues, la

(1) Dans le cas d'une plante aussi consistante que le *Nostoc commune*, la contraction au $\frac{1}{24}$ donnerait une gélose à 0,720. Ce ne serait pas encore la gélose du commerce.

gélose n'y est qu'une matière accidentelle dont l'apparition est toute fortuite. Tout en caractérisant un boghead parce qu'elle est le corps qui lui a permis d'acquérir ses principales propriétés, la gélose ne nous donne aucune idée de l'ensemble des autres conditions nécessaires à la formation de cette roche charbonneuse. Il en est ainsi pour la plupart des autres charbons à corps accidentels dominants. Les charbons d'algues, les charbons de spores, les charbons de menus débris humifiés sont bien différenciés par leurs corps accidentels dominants. Cependant ces algues, ces spores, ces menus débris ne sont nullement les conditions nécessaires de la formation d'un charbon. Ils ne nous donnent aucune idée du fond commun auquel tous trois sont surajoutés et qu'il serait si intéressant de connaître.

§ II. — *Les charbons que je me propose de faire connaître dans ce nouveau travail.*

Les charbons d'algues sont encore des accumulations de matières végétales et par là ils rentrent dans la notion qu'on se fait généralement des charbons. Ce ne sont plus les accumulations de grands végétaux que l'on a en vue dans les Traités classiques. La matière végétale s'y présente même avec ce caractère très singulier d'être surajoutée et toute fortuite : néanmoins, comme la masse reste de la matière végétale immédiatement reconnaissable, la roche produite satisfait encore à la définition classique des charbons (1).

Les charbons d'algues ont fixé nos idées sur un mode d'intervention de la matière gélosique dans la formation d'une catégorie de roches charbonneuses. Incidemment on y a constaté

(1) Voir l'article *Houille*, dans la *Grande Encyclopédie*.

que l'accumulation des thalles s'était opérée, dans une gelée brune humique qui a fait prise (1).

Dans cette masse végéto-humique la gélose est l'accident, la gelée brune fait au contraire partie de ce fond commun où viennent s'enfouir les corps accidentels les plus divers. Elle peut nous donner une idée de quelques-unes des conditions nécessaires à la formation de ce fond commun. Il serait donc bien utile, pour pénétrer plus avant dans la connaissance des charbons, d'être fixé sur les qualités de cette gelée brune et sur son mode d'intervention dans la production des roches charbonneuses. Le présent travail est une première contribution à l'étude de cette importante question.

Pour faire connaître la gelée brune et son mode d'intervention dans les roches charbonneuses, j'ai choisi des charbons produits exclusivement par des accumulations de cette gelée brune qui forme la trame ordinaire des schistes organiques. C'est de la gelée fondamentale fossilisée sans les corps accidentels qui nous la masquent d'ordinaire. De tels charbons réalisent un type tout nouveau de roche charbonneuse que je nomme les charbons humiques. Je me propose, en décrivant quelques exemples de ce type de charbon, de montrer ses caractéristiques et celles de ses principales modifications. Dans un dernier exemple la gelée brune, modifiée par l'addition d'une quantité notable de matières stercoraires, nous fera connaître les caractères spéciaux des *charbons de purins*.

On pressent de suite la grande importance des charbons humiques. Ils nous apportent d'abord la notion de charbons amorphes. Non pas de charbons rendus amorphes parce que

(1) La coagulation de la gelée brune ressort du mode d'empilement des thalles, qui ne s'y touchent pas et qui ne s'écrasent pas. Elle est établie aussi par cet autre fait que des matériaux relativement denses comme des écailles, des parcelles de mica, des coprolithes, sont généralement maintenus dans la gelée en suspension. Parfois même aussi ces écailles y sont piquées verticalement ou obliquement.

la structure des organismes formateurs a disparu à la suite d'une trituration intense ou par une pourriture très avancée, mais de charbons amorphes parce que les corps des organismes figurés ne prennent pas directement part à leur formation. La preuve qu'il en est bien ainsi, c'est que quand un organisme figuré, ou l'un de ses fragments, s'est trouvé enfermé dans ce milieu, il y est admirablement conservé. On ne peut plus dire de ces charbons qu'ils sont des accumulations de matières végétales, car l'origine végétale de la gelée brune n'est pas immédiatement reconnaissable. Par là ils échappent à la définition qu'on a d'abord donnée des charbons. Il conviendra de modifier et d'étendre cette définition, à moins que, par la suite, il ne soit établi d'une manière satisfaisante que la gelée brune est elle-même un produit immédiat de l'activité bactérienne.

En nous présentant des charbons où les corps accidentels n'interviennent que d'une manière insignifiante, les charbons humiques vont nous donner un premier aperçu des conditions nécessaires à la formation d'un charbon. Ils vont nous présenter ce fond commun où se fait l'accumulation des corps accidentels dominants que je citais tout-à-l'heure, spores, algues, menus débris.

Les charbons humiques sont les charbons les plus simples qui se puissent produire au cours de la formation d'un schiste organique. Ce sont des incidents au cours de formations de ce genre. Leur durée a été généralement très courte. Enfin les charbons humiques relient entre eux les schistes et les charbons à corps accidentels dominants.

En l'état actuel de nos connaissances sur les roches charbonneuses, on sera certainement très surpris lorsque je constaterai que les charbons humiques sont un type de charbon très répandu, que l'Industrie a déjà remarqué, et dont elle fait une classe à part, comme elle fait des classes à part pour les

Bogheads et pour les *Cannels.* Les charbons humiques correspondent aux *schistes bitumineux* de l'Industrie minérale. La substance humique ayant fortement localisé les matières minérales secondaires par action élective, la nature charbonneuse de la roche ne frappe pas immédiatement. Mais cette surcharge minérale n'est qu'un phénomène accessoire pour la genèse des charbons et il suffit que les conditions locales n'aient pas permis sa réalisation pour que la roche présente son faciès normal de charbon. Des industriels s'y trompent et j'ai vu appeler *boghead* le *charbon humique de Ceara.* Les charbons humiques sont donc une classe très importante de charbons. Mais de même que par suite des transitions qui existent entre les bogheads et les cannels l'Industrie minière hésite parfois dans laquelle des deux catégories elle doit classer un échantillon, de même l'Industrie ne sait pas distinguer nettement les charbons humiques des charbons de purins et elle applique indistinctement le nom de *schiste bitumineux* à ces deux classes de charbons.

Dans tous les exemples de charbons humiques que je vais décrire, il y a eu aussi enrichissement de la matière organique en carbone et en hydrogène par une imprégnation bitumineuse. La rétention du bitume s'y fait autrement que dans les charbons d'algues. — De même c'est parce que la capacité rétentrice de la gelée brune pour le bitume se trouve profondément modifiée lorsqu'elle est fortement chargée de matières stercoraires qu'il y a lieu de séparer les charbons de purins des charbons humiques et d'en faire une classe à part dans les roches charbonneuses.

§ III. — *Mode d'Exposition.* — *Bibliographie.*

De même que dans mes mémoires justificatifs antérieurs sur le Boghead d'Autun et sur le Kerosene shale, je procé-

derai ici aussi pargan Monographies. Cette méthode a le très grand avantage de permettre le contrôle immédiat des descriptions et des figures publiées. Elle réduit la schématisation à son minimum. Dans ces parties descriptives, je me borne à relever le plus exactement possible les faits constatés par l'analyse micrographique. Pour présenter les conclusions il me suffit ensuite de grouper les faits qui ont un certain caractère de généralité et ceux qui différencient spécifiquement chaque type de charbon. Mais quelles que fussent les vraisemblances et les probabilités, quel que fût l'entraînement des idées scientifiques régnantes, je me suis abstenu de conclure toutes les fois que les faits ne m'ont pas paru suffisamment démonstratifs comme on le verra pour les *corps bactériformes*. De même je m'abstiens systématiquement de toute explication et de toute hypothèse sur l'origine des corps dont je constate la présence dans les charbons que j'étudie lorsque les faits observés ne me montrent pas immédiatement la genèse de ces corps. Ainsi je constate qu'il y a du bitume dans les charbons humiques comme dans les bogheads, mais je ne dis point d'où vient ce bitume parce que les charbons étudiés ne me montrent pas sur place la genèse de la matière bitumineuse. — Pour les géologues stratigraphes auxquels il pourrait suffire de connaître les résultats généraux de mes observations j'ai résumé ces résultats dans la *seconde conférence sur les charbons de terre* que j'ai faite à la Société belge de Géologie le 19 octobre 1897.

Dans chaque monographie je suivrai l'ordre ci-après : Origine des échantillons. — Description macroscopique du charbon vu en morceaux et vu en coupes minces à un grossissement très faible (1). — Description de la gelée brune. — Description

(1) J'ai cru devoir insister sur les caractères macroscopiques des échantillons pour montrer que dans chaque exemple on peut relever à la loupe ou à un faible grossissement des indications très précises sur la structure spéciale de la roche.

des corps accidentels qui la chargent. — Description du bitume imprégnant et de son mode de rétention. — Caractéristiques du charbon étudié.

Des conclusions générales terminent le travail.

Comme *Notes complémentaires*, je joins à ce mémoire la description des nouvelles algues flottantes qui y sont signalées et quelques observations sur la nature des corps bactériformes.

Je décrirai successivement comme *charbons humiques* : le *Brown Oilshale permo-carbonifère de la région de Boxburn*, le *Schiste oligocène de la gorge du Bois d'Asson*, et le *charbon humique de Ceara*, qui est probablement crétacé.

Comme charbon de purin je décrirai seulement le *Schiste permien de l'Allier*, exploité à Buxière-les-Mines et à St-Hilaire.

Je dois remercier tout spécialement M. B. Renault et M. Grand'Eury, qui m'ont donné les premiers échantillons de cette étude. A propos de l'origine de chaque échantillon j'aurai à rappeler les nombreux collaborateurs au concours desquels je suis redevable des matériaux de mon travail. — J'exprime tout particulièrement ma gratitude à M. le Professeur A. Buisine, de la Faculté des sciences de Lille, pour les analyses chimiques qu'il a bien voulu faire des échantillons étudiés dans cet ouvrage.

La bibliographie de ce sujet est extrêmement restreinte. Elle se réduit presque aux quelques remarques publiées incidemment par M. B. Renault ou par moi-même au cours de nos études sur les charbons d'algues. Ce sujet n'a guère été exploré. Il convient toutefois de signaler une importante exception. M. le professeur C. W. von Gümbel, dans ses *Beiträge zur Kenntniss der Texturverhaltnisse der Mineralkohlen*, München 1883, a consacré un chapitre aux schistes bitumineux, dans lequel il donne de très excellents renseigne-

ments sur la structure de ces roches. Pour saisir la haute portée des indications de M. Gümbel, il est de toute nécessité d'avoir étudié préalablement de nombreuses coupes de charbons et de schistes *parfaitement planes, non rayées et non ébranlées*, de manière à s'être fait une idée personnelle du sujet, les objets étant vu in situ. On est alors très frappé de la précision des indications données par le savant Directeur de la Carte géologique de Bavière sur les exemples qu'il a analysés. On remarque combien il insiste sur la conservation des objets rencontrés dans ces schistes. Sa méthode principale d'analyse, attaque du schiste par l'acide azotique et le chlorate de potassium, ne pouvait lui donner les rapports des objets, mais il a su tirer de l'examen des fragments isolés tout ce qu'ils pouvaient donner. Le présent travail n'a d'autre ambition que d'être une première contribution à l'étude des *Brandschiefer*, que M. Gümbel conseillait aux botanistes d'entreprendre. Je ne me dissimule pas que ce mémoire n'est qu'un essai sur un sujet très difficile. Les résultats toutefois permettront une récolte plus rationnelle des échantillons. Une technique moins primitive que la mienne tirera de ces matériaux de choix une ample moisson de compléments et de faits nouveaux.

Lille, 5 juillet 1898

CHAPITRE I

LE BROWN OILSHALE DE LA RÉGION DE BROXBURN

SOMMAIRE :

§ I. — Ce qu'est le Brown Oilshale. Origine des échantillons étudiés. — Régions où on rencontre le Brown Oilshale. — Sa composition chimique.

§ II. — Caractères macroscopiques du Brown Oilshale d'après la roche en morceaux et d'après des coupes minces vues par transparence à un faible grossissement.

§ III. — Description de la gelée fondamentale

a. — La gelée fondamentale n'est pas homogène. C'est une matière qui n'avait pas été amenée au même degré de transformation dans toutes ses parties.

b. — Description spéciale de la gelée fondamentale d'après ses parties les plus fortement humifiées parvenue à l'état de gelée rousse. — Localisation de l'argile par la gelée rousse.

c. — Description spéciale de la gelée fondamentale d'après ses parties les moins humifiees qui sont encore à l'état de gelée jaune.

d. — Contractions, déchirures et glissements qui se sont produits dans la gelée fondamentale.

e. — Description des corps bactérioïdes.

§ IV. — Les corps accidentels du Brown Oilshale.

a. — Les diverses catégories de corps accidentels rencontrés dans le Brown Oilshale.

b. — Poussières végétales amenées par les pluies de soufre.

c. — Menus débris humifiés.

d. — Les fleurs d'eau ou algues flottantes.

e. — Les restes animaux.

§ V. — L'imprégnation bitumineuse.

§ VI. — Les matières minérales accidentelles du Brown Oilshale.

§ VII. — Conditions géogéniques de la formation du Brown Oilshale.

§ VIII. — Caractéristiques du Brown Oilshale.

§ I. — *Ce qu'est le Brown Oilshale. — Origine des échantillons étudiés. — Région où on rencontre le Brown Oilshale. — Sa composition chimique.*

Le Brown Oilshale de la région de Broxburn résulte de la fossilisation d'une masse de gelée brune presque pure. Les organismes figurés, poussières végétales et fleurs d'eau, les menus débris humifiés n'y interviennent que d'une façon insignifiante. Le bitume qui l'imprègne est peu abondant et peu condensé. La roche a le faciès d'un schiste. Malgré son faciès le Brown Oilshale doit être regardé comme un charbon parce que la matière organique prédomine optiquement sur la matière minérale et sur le bitume. Elle donne à la roche ses caractéristiques. Bien que le schiste écossais contienne 67.18 pour cent de matières minérales, celles-ci sont toutes tardivement individualisées et subordonnées au substratum organique qui les contient.

J'ai pu étudier deux échantillons de Brown Oilshale. Le premier, qui appartient à la variété *curley or contorted variety*, m'a été envoyé en 1892 par mon éminent collègue M. le professeur Bower, de Glasgow. Je dois le second échantillon à l'extrême obligeance de M. Cambray, ingénieur principal de l'exploitation des Télots, près d'Autun. M. Cambray l'avait recueilli lors de son voyage en Ecosse. L'échantillon de M. Cambray est beaucoup plus régulier que le premier. Il ressemble étonnamment à certains morceaux du schiste du Bois d'Asson.

Le Brown Oilshale est exploité dans la région de Broxburn, petit village d'Ecosse à l'Est de Bathgate. Les puits à schiste sont à quelque distance du village, dans le nord-ouest, le long du petit railway, entre Uphall et Hopetoun.

Faute de documents stratigraphiques suffisants je ne puis

indiquer comme je l'ai fait pour le Kerosene shale et pour le boghead d'Autun la série détaillée des couches dans lesquelles il est intercalé, ni son extension en surface. Cette lacune sera facilement comblée par les géologues d'Edimbourg.

L'analyse du Brown Oilshale faite par M. le professeur A. Buisine, de la Faculté des Sciences de Lille, a donné les résultats suivants :

Perte au rouge. . . .	32 82	eau. matières organiques, bitume (1).	
Portion soluble dans l'acide chlorhydrique.	16.49	silice soluble	0.51
		alumine	8.12
		carbonate de chaux . . .	1.32
		autres corps.	6.54
Portion soluble dans l'acide chlorhydrique.	50 69	silice	35.28
		alumine	15.01
		autres corps.	0.40

Ce charbon contient donc une forte proportion d'argile et d'alumine libre.

§ II. — *Caractères macroscopiques du Brown Oilshale d'après la roche en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence à un faible grossissement.*

Dans ma description des caractères macroscopiques du Brown Oilshale je prendrai comme type le spécimen de M. Bower. Quelques mots suffiront pour faire connaître par comparaison les caractères particuliers du spécimen de M. Cambray.

Le Brown Oilshale a un faciès bien spécial. Ce sont des morceaux écailleux tordus comme les plaquettes de ces paquets schisteux laminés qu'on trouve dans les crochons du terrain houiller. Comme ceux-ci il est feuilleté, contourné, avec des surfaces noires luisantes. On dirait qu'elles ont été friction-

(1) J'ai trouvé : eau, 2 89; matières organiques et bitume, 29 93.

nées par un glissement. D'où leur double désignation courante de *curley or contorted variety* et de *schiste ciré d'Ecosse*. Malgré les nombreuses fissures ondulées qui, partant de la surface, pénètrent profondément dans la masse, on reconnaît que la matière est très solide, résistante et élastique. Ces indices dénotent une roche où les substances organiques ont un rôle prépondérant. Cette variété du Brown Oilshale ne présente pas de fractures verticales étendues (1). Ses fissures obliques ou horizontales se coupent, et la matière se disloque en écailles contournées lorsqu'on la frappe pour obtenir des fractures verticales. Il faut briser de petites écailles entre les mors d'un étau pour observer des lambeaux de cassures verticales fraîches. Sur ces très petites surfaces la matière est foncée, brun noir, terne, sans filets brillants ni corps fusinifiés.

L'aspect d'une tranche verticale faite à l'émeri est non moins particulier. Je l'ai représenté (fig. 1, Pl. I). On peut le caractériser d'un mot en disant qu'il présente l'image d'une *stratification disloquée*. Sur un fond gris brun très pâle se détachent de minces lits alternativement plus durs et plus tendres. Les plus durs sont roux et plus foncés. Les plus tendres sont grisâtres et plus clairs. Ces lits sont horizontaux ou ondulés, très souvent infléchis, relevés ou contournés, discontinus, brusquement interrompus comme s'ils butaient contre des fissures invisibles. Un groupe de lits parallèles éprouve ainsi un ressaut en passant d'une partie à l'autre de la tranche verticale, exactement comme un paquet de terrain houiller subit un rejet en traversant une faille. Beaucoup de lits, après s'être doucement infléchis, viennent rencontrer un lit horizontal qui les coupe. Quelques-unes des fissures dont on soupçonne ainsi la présence sont ouvertes dans la masse des morceaux. Ce sont ces fissures qui s'étendent

(1) Sur les petits spécimens de la taille ordinaire des échantillons de Musée.

jusqu'à la surface quand on brise les bords de l'échantillon pour en observer les cassures. Les tranches verticales du Brown Oilshale ne présentent pas le réseau d'infiltration bitumineuse massive si visible sur la tranche de la Torbanite (1).

Les fractures horizontales spontanées sont très nombreuses. Leur surface est noire, vernissée, comme cirée. Je n'y ai pas vu d'enduit pholérétique. Toutes les tentatives pour briser la roche découvrent des surfaces semblables. Une tranche horizontale faite à l'émeri est brun sale. Certaines plages plus grises y sont entourées par des bordures incomplètes plus foncées. Quelques points noirs dénotent des fragments végétaux fortement humifiés.

L'échantillon de M. Cambray est moins caractérisé comme schiste contourné ; il se présente en effet comme un schiste brun clair, lourd, compact, à cassure verticale esquilleuse sans les traits noirs brillants du schiste tertiaire. Ce petit caractère le distingue du schiste du Bois d'Asson, avec lequel il présente une ressemblance extraordinaire. La tranche verticale est régulièrement et finement stratifiée. On y retrouve pourtant des points où la stratification est disloquée, mais il faut les rechercher tout spécialement. Les fentes horizontales sont plus étendues. Les surfaces mises à nu, quand elles s'ouvrent, sont bien moins fortement vernissées que dans le spécimen de M. Bower. Le spécimen de M. Cambray a été prélevé dans une partie de la couche qui était moins fracturée.

Vue à la loupe *et par transparence* sur une section verticale mince (fig. 2, Pl. I), la matière du Brown Oilshale est gris jaune très pâle, picotée de très petits points blancs trans-

(1) La couche de schiste à protritons placée sous le boghead d'Autun contient un banc que les mineurs du Morvan appellent le *banc ciré* à cause de l'aspect ciré de ses deux faces. J'ai constaté dans ce banc ciré qui est placé dans une masse de schiste très régulière une stratification aussi fortement disloquée que celle du schiste ciré d'Écosse. J'ai fait cette constatation au puits de Margenne et au puits des Télots.

parents et isolés. Elle est finement stratifiée, la stratification générale étant fortement soulignée par des zones horizontales orangées plus transparentes. Souvent ces lits transparents sont accompagnés d'un filet gris ou brun plus foncé. Quelques rares points jaune d'or plus transparents correspondent à des thalles d'*Epipolaïa Boweri*. D'autres points blancs accompagnés de taches rousses sont les sections de très petites écailles ganoïdes. Les lits transparents sont rectilignes ou ondulés, infléchis, discontinus, brusquement coupés par d'autres lits gris ou orangés. Parfois ils sont plissés, contournés ou tordus. Dans une coupe de deux à trois centimètres carrés, on peut voir la représentation microscopique de tous les accidents d'un système de couches sédimentaires effondrées. Les fractures, les glissements, les plissements sont reproduits avec une fidélité extraordinaire qui s'étend aux moindres détails. Cette structure indique une gelée organique rigide divisée par de nombreuses fissures, au sein de laquelle se sont produits des glissements importants. Quelques traits noirs indiquent de rares fragments fortement humifiés. On voit aussi de petites fusées de pyrite localisées le long des fissures les plus importantes (1).

Au grossissement de 30 diamètres le fond jaune gris des sections minces est lui-même très finement stratifié. Il est chargé de grands cristaux blancs transparents uniformément répartis dans chaque lit. Les cristaux sont isolés, inégaux. Ce sont des cristaux tardifs. On voit de la pyrite uniformément répartie à travers toute la masse en très petites boules sphériques. Au voisinage des grandes fissures elle forme des traînées plus importantes.

(1) Sur des échantillons tels que celui de M. Bower l'orientation des sections verticales dans le sens transverse ou dans le sens radial est impossible faute de repères. Dans le cas du Brown Oilshale cette difficulté d'orienter exactement les coupes verticales n'a pas de conséquences fâcheuses. Je me suis assuré que la structure de la roche restait la même dans les divers azimuts.

Les lits transparents très nombreux sont jaune de cadmium ou orangés. Chacun d'eux est dédoublé en un grand nombre de lits parallèles séparés par des lignes plus grises semblables au fond général. Ou bien les deux faces d'un lit transparent passent insensiblement au fond, l'importance des lignes grises devenant graduellement croissante ; ou bien quand les lits sont très accusés, une face ou même les deux faces du lit transparent tranchent brusquement par rapport aux lits gris qui les touchent. Presque toujours alors en étudiant ces contacts à un grossissement plus fort, on reconnaît des failles horizontales à la séparation de ces lits. Ces failles sont fréquentes au contact des lits *j* et *cc* (fig. 4, Pl. I, et fig. 9, Pl. III).

La présence de ces lits transparents met en évidence dans le Brown Oilshale un système de fissures si exactement fermées que, même à des grossissements de 200 à 300 diamètres, un grand nombre d'entre elles nous échappent complètement, lorsque le glissement des parties a mis dans le prolongement l'un de l'autre des lits de même nature. J'estime, après une longue étude de ce charbon, que malgré la grande habitude que j'ai de l'observation microscopique des roches charbonneuses, *un tiers des failles qui coupent les parties gris-brun m'échappe encore*. La figure 2, Pl. I, donne une idée des grandes fractures que l'on peut constater à un grossissement faible. Chacun des champs ou faisceaux de lits qui est ainsi limité par de grandes fractures est subdivisé par des failles secondaires très exactement fermées dont l'existence n'est révélée que par des indices difficiles à saisir. On verra, par exemple un thalle coupé en deux dont les deux parties ne sont pas dans le prolongement l'une de l'autre. Ou bien encore ce sera un lit transparent qui passera au fond à ses deux extrémités, ou bien qui s'effilera en se redressant. Cette observation des failles est extrêmement difficile. J'insiste sur

cette difficulté parce qu'on ne peut éviter les erreurs qui sont la conséquence de l'omission de certaines failles qu'en étant sans cesse en garde contre cet oubli possible. J'ai été prévenu de l'existence de ces fissures si nombreuses et si exactement fermées en voyant buter des lits transparents contre des lits gris dont les filets n'étaient pas horizontaux, ou bien en les voyant se plisser et se contourner d'une infinité de manières. Au milieu d'une masse comme celle des fig. 4 et 5, Pl. I, dont les lits sont horizontaux, on voit pointer un angle dans lequel les lits ont une tout autre allure. Ils sont verticaux, plissés en V ou en N. Les exemples de plis couchés abondent. Les figures 9 et 10, Pl. III, qui sont pris à un millimètre l'une de l'autre dans une région où les couches paraissent horizontales, en montrent quelques exemples. La figure 5, qui n'est qu'une portion grossie de la figure 4, montre un lambeau doublement plié qui a glissé dans un système de failles. Ordinairement le fond des failles qui sont ainsi demeurées incomplètement fermées est rempli par du bitume (fig. 6, Pl. I). Ces premières notions sur la structure du Brown Oilshale sont indispensables pour comprendre les particularités de ses coupes horizontales.

Vues à la loupe et *par transparence* les coupes horizontales du Brown Oilshale montrent des plages brun clair très peu colorées. C'est un des moins colorés parmi les charbons que j'ai étudiés. Dans ces plages on aperçoit de petits cristaux transparents isolés, quelques fragments noirs fortement humifiés et quelques rares points jaune d'or qui sont des thalles d'*Epipolaïa*. On remarque aussi quelques points brun roux allongés qui sont de petites poches à bitume. Ce sont des fonds de faille demeurés ouverts. Ce qui frappe surtout c'est qu'entre les plages du fond circulent des bandes ondulées plus transparentes et plus jaunes qui figurent des courbes de niveau (fig. 7, Pl. II). Un fait paraît très singulier la première fois qu'on examine ces préparations, c'est que lesdites bandes trans-

parentes s'arrêtent brusquement et ne se referment pas. Cet aspect est produit par les lits orangés qui sont coupés plus ou moins obliquement par les sections horizontales. Ils s'arrêtent en venant buter contre les fissures obliques qui affleurent la section.

Au grossissement de 30 diamètres, les coupes horizontales sont très instructives. Des plages d'un brun sale, uniformément picotées de cristaux transparents tardifs et de très petites boules de pyrite, sont limitées par des bandes ondulées orangées. Ces bandes orangées sont pauvres en cristaux transparents. La pyrite y forme par places des fusées ou des amas. Ces bandes inégalement épaisses sont brusquement interrompues, soit contre des plages grises, soit contre d'autres bandes transparentes. C'est dans ces régions que les failles sont le plus facile à reconnaître. La figure 7, Pl. II, montre des champs ou faisceaux de lits limités par des fissures dont la plupart n'ont pu être mises en évidence que par une étude très spéciale de cette région de la préparation. Comme on peut s'en convaincre par un examen attentif, cette figure est une sorte de réduction microscopique de la coupe horizontale d'une masse de terrain houiller. Quelques failles demeurées ouvertes entre deux faisceaux voisins sont pleines de bitume. Dans les plages grises les lignes de fracture sont encore beaucoup plus difficiles à reconnaître.

§ III. — *Description de la gelée fondamentale.*

A. — LA GELÉE FONDAMENTALE DU BROWN OILSHALE N'EST PAS HOMOGÈNE. C'EST UNE MATIÈRE QUI N'AVAIT PAS ÉTÉ AMENÉE AU MÊME DEGRÉ DE TRANSFORMATION DANS TOUTES SES PARTIES.

Ce qui frappe tout d'abord dans la gelée fondamentale du Brown Oilshale c'est qu'elle est hétérogène. On dirait un

mélange de deux substances de qualités différentes dont l'une ou l'autre prédomine tour à tour (fig. 9 et 10, Pl. III).

Soit en coupes verticales (fig. 2, Pl. I), soit en coupes horizontales (fig. 7, Pl. II), la gelée fondamentale est nettement zonée. Sur le fond gris roux très finement stratifié des coupes verticales se détachent des bandes horizontales plus transparentes dont la coloration est jaune de cadmium ou orangée. Ces bandes jaunes sont beaucoup moins chargées que le fond en débris humifiés, en bactérioïdes et en cristaux; par suite la lumière qui les traverse est moins absorbée et moins diffusée, d'où leur transparence plus grande. Abstraction faite des déplacements et des plis dus à des glissements, ces bandes jaunes sont horizontales.

Il n'y a pas de séparation nette entre le fond gris roux et les bandes jaunes. Chaque bande jaune est divisée en lits parallèles par de minces lames gris roux. Sur les limites des bandes jaunes on passe souvent de celles-ci au fond général parce que les lits roux intercalés sont de plus en plus larges, si bien que les filets jaunes se réduisent à de petites pellicules noyées dans la masse rousse. Enfin, et cette indication est très importante, certains lits du fond contiennent une proportion de plus en plus forte de matière jaune. Ces bancs sont plus jaunes que le reste du fond. Ils sont aussi moins chargés en débris humifiés, en bactérioïdes et en cristaux que les autres. Ils se rapprochent donc de l'état des bancs jaunes par tous leurs caractères. On trouve facilement une série de bancs de plus en plus jaunes qui conduisent insensiblement des lits roux ordinaires aux bancs orangés les mieux caractérisés. Il n'y a donc pas une séparation absolue des deux matières. C'était tour à tour l'une ou l'autre qui prédominait.

On passe de même des lits gris roux pris comme type moyen de la gelée fondamentale à ses lits les plus colorés par des transitions insensibles. Ces lits plus foncés sont en même

temps plus chargés en débris humifiés, en bactérioïdes et en cristaux. C'est donc la même modification, plus accentuée, qui a produit les lits les plus colorés. A ce dernier état la gelée fondamentale réunit tous les caractères que nous lui connaissons dans les bogheads et dans les schistes organiques.

De ces premières constatations je conclus que la gelée fondamentale du Brown Oilshale avait, au moment de son dépôt, une composition variable en chaque point de sa masse. A la matière rousse qui forme la gelée ordinaire des schistes organiques s'ajoutait une certaine proportion d'une matière plus jaune. Cette matière jaune était capable de se prendre en gelée comme la matière rousse. Lorsque la matière jaune prédominait il s'est déposé des bandes jaunes. Cette matière jaune ne fait jamais complètement défaut même dans les lits les plus fortement colorés en brun.

La présence d'une matière jaune transparente dépendant de la gelée fondamentale est un fait important pour la connaissance des charbons. Elle nous révèle l'existence d'une *nouvelle catégorie de corps jaunes* très différente de celles que j'ai étudiées jusqu'à présent et qui provenaient d'organismes figurés, soit gélosiques comme les Pilas et les Reinchias, soit cellulosiques comme les spores et le pollen. Il y aura donc lieu désormais de rechercher spécialement si, parmi les corps jaunes que présente un charbon, il ne s'en trouve pas qui dérivent de la gelée fondamentale.

Il ne s'agit pas là d'*une gelée primitivement homogène qui se serait altérée postérieurement à son dépôt par le fait d'un travail bactérien*. Si un travail de cette nature explique très bien quelques faits, il en est d'autres dont il ne rend pas compte. Ainsi une altération bactérienne explique très bien la charge plus grande des régions rousses en bactérioïdes, elle explique très bien aussi l'humification plus profonde de ces régions et par suite leur aptitude à localiser l'argile en plus

grande quantité. Un travail bactérien n'explique pas, par contre, cette autre coïncidence constante, à savoir qu'aux bancs les plus jaunes correspond toujours une charge minimum en débris humifiés. Puisque la charge en menus débris varie ainsi régulièrement suivant la nature des lits, c'est qu'au moment où ceux-ci se sont déposés la gelée organique qui se précipitait tombait dans une eau génératrice dont la charge locale, en menus débris, était variable et proportionnelle à celle que nous voyons dans les lits déposés. L'eau génératrice était tour à tour plus ou moins chargée de débris. Aux périodes de charges minima correspond une gelée pauvre en débris. Nous avons constaté incidemment qu'une telle gelée est aussi très pauvre en bactérioïdes. Si la charge de la gelée fondamentale en menus débris doit être lue comme je viens de le faire, si elle correspond bien à la charge de l'eau génératrice en menus débris lors de son dépôt, en l'absence de tout indice contraire il semble bien que la charge des lits en corps bactérioïdes doive être lue de la même manière. C'est-à-dire que la gelée fondamentale est arrivée sur le fond avec la charge en bactérioïdes que nous voyons dans chaque lit. J'aurai occasion de rappeler cette remarque en étudiant plus loin la nature des corps bactérioïdes, car c'est un des plus forts arguments qu'on puisse invoquer en faveur de l'attribution de ces corps à des restes d'organismes figurés et par conséquent à des restes de Bactéries.

Les bancs jaunes du Brown Oilshale ne sont pas un exsudat dû à la contraction de la masse comme il arrive dans d'autres charbons et comme on en voit des exemples dans les gelées aqueuses de gélose à 0,002 et 0,004. Le Brown Oilshale ne présente ni réseau ni déchirures entre ses lits, hormis les fissures qui ont coupé sa masse. Les lits se tiennent, les objets qui chargent la gelée sont généralement en position stable. Il n'y a pas eu refoulement d'une partie plus fluide qui serait venue se loger entre les feuillets

plus solides. La matière jaune n'a pas non plus les caractères particuliers que je connais aux exsudats des schistes organiques. Ses bactérioïdes sont isolés. Ses cristaux tardifs sont peu nombreux et couchés à plat. Ils n'offrent pas du tout l'agencement en colonnettes rayonnées qui est si fréquente dans la minéralisation des exsudats (1).

Il faut de même écarter l'idée d'une accumulation bitumineuse qui se serait solidifiée entre les feuillets d'une gelée dont les lits auraient été préablement séparés par le retrait. On ne voit pas les fissures qu'admet cette explication. De plus, au voisinage des fentes entr'ouvertes où le bitume est libre, on peut observer la pénétration massive du bitume entre les feuillets de la gelée fondamentale. Le résultat ne ressemble pas du tout aux bancs jaunes.

Nous restons donc avec ce caractère très particulier de la matière fondamentale du Brown Oilshale de Broxburn que la gelée rousse ordinaire était accompagnée d'une quantité variable de matière jaune et que cette gelée hétérogène tombait avec la charge en menus débris et en bactérioïdes que nous lui voyons dans chaque lit.

La matière jaune faisait prise comme la gelée rousse. Peu à peu on voit la matière jaune prendre tous les caractères de la gelée rousse. Comme la gelée rousse se présente beaucoup plus fréquemment dans les charbons que la gelée jaune, je suis conduit à admettre que la gelée rousse est un état d'altération plus avancé, *plus stable*, vers lequel tendait la matière jaune. Une humification plus intense se produisait là où la charge locale de l'eau génératrice augmentait en menus débris et en bactérioïdes. En d'autres termes, la gelée fondamentale du Brown Oilshale est une matière qui n'avait pas été amenée au même degré de transformation humique dans toutes ses parties.

(1) Voir plus loin le schiste du Bois d'Asson.

B. — DESCRIPTION SPÉCIALE DE LA GELÉE FONDAMENTALE D'APRÈS SES PARTIES LES PLUS FORTEMENT HUMIFIÉES PARVENUES A L'ÉTAT DE GELÉE ROUSSE. LOCALISATION DE L'ARGILE PAR LA GELÉE ROUSSE.

La gelée rousse est faiblement colorée, amorphe, non réticulée, finement stratifiée (fig. 11, Pl. III). Cette stratification est établie par la position des spores, des thalles et des menus débris qui sont placés horizontalement en stabilité.

La gelée est continue sans indication de condensation ou de déchirure en réseau. Sa réfringence est assez faible. Les corps qui y sont enfouis sont donc particulièrement bien visibles. C'est ainsi que les spores, les thalles, les bactérioïdes (fig. 13, Pl. III), se détachent très bien sur le fond qui les entoure, On voit de suite que cette gelée conserve parfaitement la structure des corps qui y sont enfouis. De ce côté les conditions sont particulièrement favorables à l'étude des organites qu'elle contient. Malheureusement le bitume qui a imprégné la gelée est extrêmement peu coloré. Les parties qui, comme les protoplastes et les lamelles moyennes des cloisons cellulaires, sont d'habitude soulignées et rendues très visibles parce qu'elles localisent plus fortement le bitume, se trouvent ici très faiblement colorées. Elles se distinguent très mal des parties voisines ; c'est ainsi que la structure des thalles d'*Epipolaïa*. par exemple, reste toujours très difficile à lire.

La consistance de la gelée rousse a été rapidement assez forte. Les corps qu'elle contient sont isolés, incomplètement affaissés. Les écailles ne s'y enfonçaient pas. La masse ne présente aucune trace d'écrasement par le fait de la charge des dépôts supérieurs.

La gelée rousse est faiblement chargée en bactérioïdes (fig. 12 et 13, Pl. III). Cette appréciation est donnée par comparaison avec la charge que présente la gelée rousse dans les autres roches charbonneuses. Même en cet état de réduction relative,

la charge de la gelée rousse en bactérioïdes est beaucoup plus grande que celle des bancs jaunes (fig. 14 et 15, Pl. IV).

La charge de la gelée rousse en corps accidentels est extrêmement faible. Ces corps sont isolés, bien étalés, en stabilité parfaite, et non effondrés.

La gelée rousse nous montre dans le Brown Oilshale une autre de ses propriétés qui est très importante à connaître pour la Géogénie des schistes bitumineux. Je veux parler de la localisation élective de la matière argileuse. Cette propriété est particulièrement facile à observer dans cet exemple.

La gelée rousse est chargée de cristaux tabulaires transparents dont la section est rhombique ou lenticulaire. Ces cristaux sont isolés, simples, de taille variable (fig. 12, Pl. III, fig. 14 et 15, Pl. IV). Sur la section verticale, les plus gros sont dressés, les plus petits sont couchés à plat et vus par la tranche. Ils n'agissent que très faiblement sur la lumière polarisée. Ils représentent une individualisation tardive de la matière argileuse *qui est toujours beaucoup plus abondante dans ces régions*. Il ne s'agit donc point d'une recristallisation d'éléments clastiques. Les plus grands de ces cristaux contiennent toujours quelques corps bactérioïdes.

Les autres matières minérales tardivement individualisées qu'on voit dans la gelée rousse ont un caractère accidentel beaucoup plus accusé. Je les citerai plus loin. Elles n'indiquent pas des faits de localisation élective comme celui dont il vient d'être question pour la matière argileuse.

La gelée brune n'est pas modifiée le long des lignes de fracture du Brown Oilshale. En particulier elle ne s'y présente pas plus fortement colorée.

La gelée fondamentale du Brown Oilshale brunit fortement dès qu'on la chauffe légèrement à l'air.

La gelée rousse a été traversée par une matière bitumineuse qu'elle a faiblement retenue. On ne voit pas de canaux

ou de petites fissures par lesquelles le bitume aurait pénétré dans la masse à la manière d'une injection fine. Comme d'autre part les cavités des objets humifiés enfermés dans la gelée contiennent du bitume, il faut admettre que le bitume a traversé la gelée rousse par une sorte de diffusion générale comblant les cavités demeurées inoccupées. Constatons en passant que le bitume enfermé dans les cavités des corps ne contient pas de bactérioïdes. Le bitume a été d'autant plus condensé par la gelée que celle-ci était plus fortement humifiée. La gelée est d'autant plus contractée qu'elle est plus chargée de bitume.

Quand la gelée rousse est plus fortement colorée que le type moyen, sa charge en menus débris humifiés en bactérioïdes et en cristaux argileux augmente beaucoup. Lorsque la gelée rousse pâlit *sans se charger de matière jaune*, elle est moins chargée en bactéroïdes et en débris humifiés, mais sa charge en cristaux argileux augmente beaucoup. Quand la gelée rousse est plus chargée de matière jaune sa teinte jaunit, sa consistance et sa réfringence augmentent; elle est moins chargée en menus débris et en bactérioïdes, les cristaux tardifs deviennent moins nombreux et plus petits. La condensation du bitume est d'autant plus forte que la gelée est plus colorée. La contraction de la gelée marche de pair avec sa capacité de rétention pour le bitume.

C. — DESCRIPTION SPÉCIALE DE LA GELÉE FONDAMENTALE D'APRÈS SES PARTIES LES MOINS HUMIFIÉES QUI SONT ENCORE A L'ÉTAT DE GELÉE JAUNE.

De même que la gelée rousse, la matière jaune est faiblement colorée, amorphe, d'aspect gommeux (1). Sa stratification

(1) J'ai dû rechercher tout spécialement si cette gelée jaune ne représenterait pas une accumulation d'êtres inférieurs à membranes diffluentes, rendus presque invisibles par leur empilement, par le retrait, et par

est très accusée par les lits roux qui y sont intercalés, ainsi que par les spores et les débris humifiés qui y sont enfermés (fig. 14, Pl. IV). Cette matière n'a aucune tendance à se déchirer en réseau. Près des fentes de rupture on voit quelques feuillets entr'ouverts entre lesquels le bitume a pénétré massivement.

La réfringence de la matière jaune est plus forte que celle de la gelée rousse. Elle se rapproche de celle de l'enveloppe extérieure des spores, aussi ces organites sont-ils beaucoup plus difficilement visibles dans la matière jaune que dans la gelée rousse. La matière jaune conserve parfaitement les corps qui y sont enfouis, sa plus grande réfringence les rend difficilement visibles.

La consistance de la matière jaune était plus grande que celle de la gelée rousse. Les corps qu'elle contient sont encore moins affaissés et fréquemment il y a séparation entre les bancs les plus jaunes et les bancs les plus roux dont la consistance était beaucoup plus faible (fig. 9, Pl. III).

La charge de la gelée jaune en bactérioïdes est extrêmement faible (fig. 14, Pl. IV). Ils y sont isolés, très inégalement répartis, d'autant moins nombreux que la matière paraît plus pure sans qu'elle en soit jamais totalement dépourvue. Cette pauvreté de la gelée jaune en bactérioïdes est d'autant plus sensible que les minces filets roux qui coupent les bandes jaunes en contiennent toujours une beaucoup plus grande quantité. J'ai étudié cette matière en y recherchant au grossissement de 1500 diamètres des organismes bactériens qui ne seraient pas à l'état de spores. Je n'en ai aperçu aucune indication.

l'absence de coloration de leurs protoplastes, comme il arrive dans certains charbons d'algues. Même après coloration je n'ai observé aucune structure justifiant cette idée. Il faudrait pouvoir sacrifier à cette recherche un assez grand nombre de très bonnes coupes. Le matériel restreint dont je disposais ne me permettait pas de multiplier mes essais.

La charge de la gelée jaune en menus débris humifiés est extrêmement faible. Les spores y sont assez nombreuses. Les cristaux argileux y sont beaucoup moins nombreux que dans la gelée rousse. Ils sont mal conformés, et couchés à plat (fig. 14. Pl. IV).

D. — CONTRACTIONS, DÉCHIRURES, ET GLISSEMENTS QUI SE SONT PRODUITS DANS LA GELÉE FONDAMENTALE.

La contraction de la gelée du Brown Oilshale est difficile à évaluer en l'absence de repères invariables un peu volumineux. Il n'y a ni parcelles de mica ni parties silicifiées qu'on puisse considérer comme à peu près maintenues à leur volume primitif. Près d'une écaille ganoïde, la contraction verticale a été trouvée de 2,5. Ce nombre indique seulement que par rapport à celle de l'écaille la contraction de la gelée fondamentale a été 2,5 fois plus forte. Il faudrait multiplier ce nombre 2,5 par le coefficient de contraction de l'écaille pour avoir la contraction totale de sa gelée. Les corps humifiés, les spores, les thalles d'*Epipolaïa Boweri* ont agi comme corps durs par rapport à la gelée fondamentale. Près d'un groupe de thalles d'*Epipolaïa Boweri* la contraction relative de la gelée fondamentale a été trouvée de 1,66.

La première phase de la contraction de la gelée fondamentale a présenté dans ce charbon des phénomènes tout spéciaux. La gelée avait fait prise à la manière d'une solution aqueuse de la gélose à 0,006 ou 0,008. Elle s'est contractée massivement sans aucune tendance à se déchirer en réseau. A un certain moment la masse a cédé, elle s'est coupée par des fractures dont beaucoup sont horizontales et suivent la surface des bancs jaunes. Beaucoup d'autres fissures sont limitées entre deux bancs jaunes. Ce n'est donc point une poussée ou un affaissement qui les a provoquées mais simplement le

retrait consécutif à la déshydratation générale de la matière. Les morceaux ont glissé les uns sur les autres et sont venus là où nous les trouvons. Ces déplacements se sont opérés avec une grande douceur, car ils n'ont déterminé ni arrachements ni éraillures. J'en conclus que ce travail s'est fait sous l'eau, ce qui a atténué les frottements et diminué les pressions, les masses pressantes n'agissant que par leur excès de densité par rapport à l'eau. Le retrait et la pesanteur relative ont été les seuls agents de ce travail.

Malgré son hétérogénéité la gelée fondamentale et les corps qu'elle contient se sont comportés comme une masse solide lors de la production des premières fractures. J'ai cité l'exemple des thalles coupés par une fissure dont les fragments sont éloignés les uns des autres. Nulle part les thalles et les spores ne se sont séparés de la matière entourante; que celle-ci fût coupée ou pliée, ils faisaient corps avec elle. — D'autre part cependant les fragments de la gelée au moment de leur déplacement étaient encore parfaitement plastiques, car une fois posé le lambeau s'infléchissait sous son poids relatif et sous l'action des pressions qu'il subissait. J'ai représenté (fig. 5, Pl. I), un de ces fragments doublement plié.

La plupart des fissures de la gelée fondamentale sont si exactement fermées que la solution de continuité correspondante n'est pas visible même à de forts grossissements. On ne soupçonne leur présence que par l'arrêt brusque des bancs jaunes venant buter contre le fond gris roux. Là où les fissures sont demeurées ouvertes, elles sont comblées par un bitume brun clair sans bactérioïdes. Plus tard pendant la consolidation définitive, les plus grandes fissures se sont rouvertes, en se rejoignant elles ont partagé la masse du charbon en plaquettes écailleuses contournées, à surface vernissée.

E. — DESCRIPTION DES CORPS BACTÉRIOÏDES

L'examen des corps bactérioïdes nécessite des coupes extrêmement minces, parfaitement planes, non rayées, et dont la matière n'a pas été ébranlée par la taille. Il faut de plus des coupes parfaitement nettoyées et qui n'aient pas été roussies par le chauffage lors du montage des préparations. L'étude de ces coupes doit être faite à des grossissements de 1000 à 1500 diamètr.

A des grossissements moyens compris entre 300 et 600 diamètres, la gelée fondamentale paraît chargée de petits corps arrondis ou en bâtonnets d'aspect bactérioïde (fig. 11, 12, Pl. III). Ils peuvent se ranger en trois catégories ; les corps arrondis sphériques, dont les uns plus gros sont facilement visibles, ce sont les *macrococcoïdes*, d'autres sont très petits, peu visibles, ce sont les *micrococcoïdes*. Il y a enfin des corps en forme de bâtonnets courts ou *bacilloïdes*.

A un grossissement fort l'aspect est un peu différent. On revoit facilement les bâtonnets courts ou bacilloïdes, mais les corps coccoïdes sont presque tous à l'état de très petits micrococcoïdes. Quant à ce que l'on voyait comme des macrococcoïdes ce sont ou bien des micrococcoïdes couplés en diplocoques, ou bien des micrococcoïdes liés à des bulles, mais très rarement des corps sphériques plus gros méritant vraiment le nom de macrococcoïdes.

A 1500 diamètres les micrococcoïdes sont de très petits corps sphériques, brillants, pleins, *qui ressemblent beaucoup à des spores de bacteries.* Ils mesurent de 0 μ 5 à 0 μ 8 (fig. 14 à 18, Pl. IV). Ils se détachent nettement sur la gelée rousse ou sur la gelée jaune. De même que dans les corps bullaires l'aspect change selon que la mise au point est superficielle ou médiane. Quand la mise au point est superficielle. le globule est très brillant, jaune clair, sans enveloppe. Lorsque la mise au point est médiane le centre est noir dans les très petits

cocci, le centre est blanc, entouré d'un cercle noir dans les macrococcoïdes. Autour du corpuscule on aperçoit une auréole jaune clair. A part l'auréole entourante ce sont les caractères d'un corps bullaire. Je ne crois pourtant pas que dans le cas du Brown Oilshale il s'agisse simplement de bulles gazeuses. Dans d'autres charbons comme le *schiste du Bois d'Asson*, où ces petits sphérules sont manifestement bullaires, les caractères de la bulle sont encore plus tranchés. Je n'ai pas vu de membrane rousse autour de ces coccoïdes. L'auréole claire qui se dessine autour de la partie sombre lors de la mise au point médiane a une épaisseur égale au rayon ou aux 2/3 du rayon de la boule. Cette enveloppe est jaune clair, elle passe au fond vers l'extérieur. Est-ce une membrane propre ? N'est-ce pas plutôt une condensation de la gelée, autour d'une bulle ou d'une gouttelette ? Les corps micrococcoïdes ont une réelle autonomie par rapport à la gelée fondamentale. La taille les arrache tout entier y compris leur enveloppe transparente. On les voit dans la boue résultant de la taille de la roche. On les voit aussi englobés dans les cristaux tardifs, mais là leur enveloppe jaune clair se trouve très amincie.

Les micrococcoïdes sont, soit isolés, soit couplés en diplocoques. Rarement ils sont réunis en chaînettes de trois. Ils sont répartis en nuages et comme suspendus dans la gelée rousse (1). Les coccoïdes deviennent très nombreux dans les parties les plus fortement colorées. Ils se raréfient brusquement dans les lits de matière jaune (fig. 14, Pl. IV).

J'ai trouvé les micrococcoïdes dans un grand état de pureté sur la surface des thalles de l'*Epipolaïa Boweri*. J'ai représenté (fig, 18, 19 et 20, Pl. IV) un coin d'un amas de ces corps pris entre plusieurs thalles contigus.

(1) Cette attitude suspendue contraste avec l'attitude couchée qu'affectent les spores de bactéries qu'on voit posées sur les pellicules ferrugineuses des ruisselets de nos bois.

Très fréquemment des bulles irrégulières sont attachées à des micrococcoïdes et à des corps en diplocoques. Les macrococcoïdes sont presque tous des bulles de cette sorte (Bμ, fig. 14 et 15, Pl. IV).

Les bacilloïdes consistent en bâtonnets rectilignes courts, arrondis aux deux bouts, ayant tous les caractères optiques des micrococcoïdes, c'est-à-dire qu'ils sont brillants comme des spores de bactéries. Dans les plus grands on voit parfois un très petit cristal biréfringent. La longueur de ces bacilloïdes varie de 2 μ 5 à 4 μ 6. Leur largeur est 0 μ 8. L'épaisseur de leur enveloppe claire est 0 μ 3.

Les bacilloïdes sont mêlés aux micrococcoïdes. Ils sont peu nombreux; par places ils deviennent très rares sans jamais disparaître complètement.

Les caractères relevés par l'analyse optique que je viens de présenter des corps bactérioïdes ne permettent pas d'établir directement ce que sont ces corps. Je reviendrai sur cette question dans une note complémentaire.

§ IV. — *Les corps accidentels du Brown Oilshale.*

A. — DIVERSES CATÉGORIES DE CORPS ACCIDENTELS RENCONTRÉS DANS LE BROWN OILSHALE.

Les corps accidentels englobés dans la gelée fondamentale du Brown Oilshale sont les suivants :

1° Des poussières végétales non humifiées, spores et grains de pollen.

2° De menus fragments végétaux diversement humifiés, poussières végétales ou menus débris flottés.

3° Des fleurs d'eau représentées par des thalles d'*Epipolaïa Boweri*.

4° De minuscules écailles ganoïdes qui indiquent des restes animaux.

Je n'ai vu ni Diatomées, ni spicules d'éponges, ni coquilles d'Ostracodes. Je n'ai pas rencontré d'éléments clastiques, pas même une parcelle micacée. Je n'ai observé aucun indice dénotant la présence d'une végétation de fond. Je n'ai pas vu de coprolithes.

B. — LES POUSSIÈRES VÉGÉTALES NON HUMIFIÉES, SPORES ET GRAINS DE POLLEN.

Les poussières végétales enfouies sans humification préalable dans le Brown Oilshale sont des spores, des grains de pollen, et quelques lames cuticulaires. Comme ces corps sont très peu nombreux et fort minces, ils n'interviennent que pour une part inappréciable dans la masse du charbon de Broxburn, moins de 0,001. Par contre ces corps sont très variés et témoignent de l'intervention de plusieurs espèces végétales dans les pluies de soufre. Les spores et les grains de pollen du Brown Oilshale sont très isolés, couchés à plat, affaissés, la face supérieure touchant la face inférieure Ces organites sont vides. Ils sont entiers, ou du moins, ils n'ont pas été fendillés par un retrait plus fort de la substance qui les forme. En général ces poussières végétales non humifiées sont à l'état de corps jaunes. Pour quelques-uns la partie interne de leur paroi est plus foncée et brune. Une seule catégorie de spores a ses parois complètement colorées en rouge brun, ce qui dénote une humification antérieure assez intense. Les spores de cette sorte devraient être étudiées avec les poussières humifiées. Je donne ci-dessous une description abrégée des principaux organites que j'ai pu reconnaître dans ces poussières végétales non humifiées.

1. — Grosses spores tétraédriques à parois épaisses. Elles mesurent 83 μ sur 80 μ. Elles portent une fente triradiée difficile

à voir parce qu'elle est ordinairement cachée par les grosses crêtes qui revêtent la surface (Pl. IV, fig. 21). Les crêtes sont parfois épineuses. Ces spores sont toujours entières. La zone profonde de la paroi est colorée en terre de sienne ou en brun clair, la partie externe plus épaisse est jaune d'or. A cause de leur forme et de leur structure on doit les considérer comme des macrospores de Cryptogames vasculaires. Ces grosses spores sont relativement fréquentes. Elles sont faciles à voir. Ce sont elles que l'on remarque tout d'abord. J'ai vu quelques spores présentant les mêmes ornementations, mais sensiblement plus petites. S'agit-il des spores incomplètement développées, ou bien s'agit-il des spores d'une autre espèce du même genre?

2. — Grosses spores tétraédriques moins volumineuses que les spores 1, à parois épaisses mais *lisses, sans trous et sans crêtes*. Elles sont toujours déchirées, incomplètes. Cette seconde sorte de spores est très rare. J'y vois une autre espèce de macrospores, de Cryptogames vasculaires.

3. — Spores tétraédriques à fente triradiée, ayant un diamètre de 50 μ. Elles n'ont pas de crêtes. Elles portent des trous très profonds (fig. 22, Pl. IV). La paroi de ces spores est orangée ou légèrement brune, elle a subi un commencement d'humification. Ces spores sont rares, elles viennent d'une troisième Cryptogame vasculaire à macrospores très petites.

4. — Spores à surface fortement chagrinée se présentant comme un disque par le fait de leur affaissement (fig. 23, Pl. IV). Elles n'ont pas de fente. Elles mesurent 51 μ sur 45 μ. Elles sont à l'état de minces lames jaune d'or. Ces spores sont fréquentes. Ce sont encore des macrospores affaissées d'une quatrième Cryptogame vasculaire.

5. — Spores à parois minces portant à leur surface un très fin réticulum. Elles mesurent 31 μ sur 28 μ. Elles consistent en très minces lames jaune d'or. Elles sont très rares (fig. 24, Pl. IV). Je les considère comme des microspores ou comme les

spores d'une Ptéridophyte homosporée. Ces cinq premières sortes de spores proviennent des pluies de soufre. Il en est de même des grains de pollen.

6. — Il y a une sixième sorte de spores très différente des autres. Elle provient peut-être d'organismes ayant vécu dans l'eau génératrice du Brown Oilshale. Ce sont de petits corps arrondis ou ovoïdes mais déprimés d'un côté. Ils mesurent seulement 20 µ sur 12 à 15 µ. Ils ont un trou rond ouvert (fig. 25 A et B, Pl. IV). La paroi rigide est lisse sans saillie ni ponctuation. La paroi est brun clair. Elles rappellent l'enveloppe des kystes géants des Chytridinées, mais leur grande taille me paraît s'opposer à cette attribution. Ces corps sont assez fréquents.

Les grains de pollen se présentent dans le Brown Oilshale sous l'apect de membranes rouge brun, très minces, chiffonnées. Chaque membrane est un sac affaissé. On ne voit ces corps que sur les sections verticales. *Par suite de leur extrême minceur ils échappent à l'observation dans les coupes horizontales. Leur réfringence et leur coloration propres ne suffisent pas à souligner leur présence dans la matière fondamentale où ils sont noyés* (1). Ces corps constituent de minces écailles brunes. La taille de ces organites paraît très variable, cela tient surtout à la manière dont ils sont coupés par la section. Ces grains de pollen sont fréquents. Ils représentent aussi un apport éolien.

Je regarde comme des lames cuticulaires, peu ou pas humifiées, de longues lames orangées ou brun clair rencontrées par les sections verticales. Elles se présentent comme des filets

(1) Il arrive beaucoup plus souvent qu'on ne le pense que des organismes relativement gros et bien différenciés échappent ainsi à l'observation sur l'une ou sur l'autre série de sections par suite de la très faible épaisseur sous laquelle ils se présentent dans la gelée fondamentale où ils sont noyés. J'aurai occasion de rappeler ce fait en étudiant les Diatomées et le pollen du schiste du bois d'Asson.

ondulés, les uns nettement homogènes, sans structure, les autres offrant une région médiane plus sombre et discontinue comme si dans l'épaisseur de la lame il y avait des cellules épidermiques plates vues par la tranche. J'ai représenté une de ces lames (fig. 14, Pl. 4). J'ai recherché si je ne me trouvais pas en présence d'hyphes d'algues filamenteuses ou bien de lames comme celles des *Monostroma* ou des *Enteromorpha*. Je n'ai rien vu qui confirmât ces deux hypothèses sur les sections horizontales. C'est en procédant par élimination que j'arrive à rapporter ces membranes à des cuticules. Elles sont lisses, sans dessins ou impressions cellulaires. Bien que ces cuticules ne soient pas nettement humifiées, comme le fait de leur isolement indique une macération prolongée, je considère ces membranes comme des corps accidentels provenant probablement du flottage. Le vent a pu cependant jeter dans les mares anthracigènes des lames aussi minces.

Les organites précédents se rapportent avec certitude aux végétaux. Il n'en est plus de même de celui qui me reste à décrire ; c'est pourtant le plus répandu des organismes sporiformes. Je ne le laisse près des spores et des grains de pollen que faute de savoir à quoi l'attribuer. Cet organite consiste en disques circulaires ou elliptiques mesurant 30 à 40 μ de long sur 25 à 30 μ de large. Ces corps ne sont probablement discoïdes que par affaissement. Ils sont souvent déformés d'un côté, avec un pli ondulé de position variable (fig. 26, Pl. III). La paroi très mince est jaune d'or, parfaitement lisse, sans ornementation en creux ou en relief. Elle est rigide mais fragile, fréquemment brisée, la rupture étant très nette. Il n'y a pas de ligne de déhiscence. Ces disques sont vides, isolés, plus nombreux dans les zones orangées de la gelée fondamentale. Bien que ces parois à l'état de corps jaunes rappellent les corps donnés par la transformation des enveloppes des spores cryptogames vasculaires, je doute beaucoup que ces disques soient des

spores. Je doute même que ce soit des organes végétaux. Serait-on en présence de cuticules d'infusoires ? L'aspect lisse et la grande variabilité de taille s'accorderaient avec cette attribution, mais je suis surpris de trouver la paroi à l'état de corps jaune si semblable à ceux que donnent les lames cellulosiques. A cause de ce caractère j'ai laissé provisoirement ces organites près des poussières végétales.

C. — LES MENUS DÉBRIS VÉGÉTAUX HUMIFIÉS.

Les menus débris végétaux humifiés sont en très petite quantité dans le Brown Oilshale. Ces fragments n'y interviennent pas plus que le pollen et les spores. Quelques-uns de ces débris sont rouge brun, mais la plupart sont brun noir, très foncés, sans être pourtant à l'état de fusain. Les corps rouge brun ne sont que des fragments de parois végétales, de petits éclats ou de petites esquilles d'un corps fragile se cassant nettement à la manière d'un morceau de bois lignitifié. Les fragments brun noir sont aussi de petites écailles, des fragments de parois très fortement humifiées, quelques morceaux plus grands présentent des cellules entières. La cavité de ces cellules est remplie d'un bitume brun pâle, sans corps bactérioïdes. Le bitume ne paraît pas s'être localisé dans ces fragments de parois plus foncés. Il est au contraire plus condensé dans les éclats bruns. Même sur ces derniers corps, la condensation du bitume est restée relativement faible ; les corps, en effet, sont tous entiers. Le retrait n'y a donc pas été aussi fort que dans les masses de bitume des poches à bitume. La localisation du bitume sur les débris humifiés y a donc été moins forte que dans d'autres charbons.

Tous ces débris humifiés sont couchés à plat, bien étalés, mais parfois incomplètement affaissés. Ils ont été soutenus par la gelée qui les englobait. J'ai déjà signalé que les menus

débris deviennent rares dans les zones où prédomine la gelée jaune, et qu'ils sont au contraire plus abondants dans les lits où la gelée brune est la plus foncée. Pour faciliter la lecture de mes croquis j'ai couvert de hachures inclinées vers la droite les parcelles rouge brun. Les parcelles brun noir sont marquées par des hachures inclinées vers la gauche.

Je n'ai pas rencontré de véritables fusains.

D. — LES FLEURS D'EAU OU ALGUES FLOTTANTES

Les fleurs d'eau sont peu nombreuses, puisqu'on ne trouve guère que 10 à 12 thalles par centimètre cube aux points qui en sont le plus chargés. Elles sont représentées par une seule espèce d'algue libre et flottante, l'*Epipolaïa Boweri*. Le genre *Epipolaïa* est encore une algue à thalle radié comme Pila et Reinschia. Ces thalles sont couchés à plat, affaissés. On les rencontre indistinctement dans les lits orangés et dans les lits roux. Leur gélose est à l'état de corps jaune très pâle. Leurs masses protoplasmiques ne sont presque pas colorées par le bitume. Ces thalles n'interviennent pas d'une façon sensible dans la formation du Brown Oilshale.

Je renvoie la description de la plante à la fin de ce travail, dans une note complémentaire.

E. — LES RESTES ANIMAUX.

Comme restes animaux je n'ai rencontré que quelques écailles ganoïdes. Ce sont des écailles courtes, épaisses, portant d'un côté une plaque d'émail et de l'autre une masse osseuse toujours assez fortement colorée par le bitume qu'elle a localisé. Dans l'échantillon de M. Bower les lames d'émail n'offrent aucun taraudage. Dans le spécimen de M. Cambray, les lames d'émail des grosses écailles ont des cavités sphériques, indices d'un travail de destruction. Je n'ai pas vu l'organisme qui a exé-

cuté ces perforations. Les canalicules des cellules osseuses montrent une région centrale brun clair entourée d'une enveloppe jaune pâle. Les diverses parties de l'élément cellulaire suivant leur nature localisent donc diversement le bitume. Je n'ai pas vu de bactéries dans les canalicules osseux.

§ V. — *L'imprégnation bitumineuse.*

La masse du Brown Oilshale a été soumise à une imprégnation bitumineuse tardive. On voit ce bitume libre dans les fractures de la gelée qui sont demeurées entr'ouvertes. Ce bitume est brun clair, transparent, sans corps bactérioïdes. Il est extrêmement peu condensé. Le bitume a traversé la masse par une sorte de diffusion générale. Il emplit en effet les cavités cellulaires des corps végétaux humifiés et des écailles aussi bien dans la gelée jaune que dans la gelée rousse. Le bitume a été retenu faiblement par la gelée fondamentale, les parties foncées le retenant plus fortement que les parties claires. Il n'a été condensé un peu fortement que dans les menus débris végétaux rouge brun et un peu moins dans la partie osseuse des écailles. La masse du Brown Oilshale a donc subi un enrichissement en matière hydrocarbonée par une imprégnation bitumineuse tardive. Cet enrichissement a été faible, le bitume étant par lui-même très peu condensé et la matière rétentrice principale étant ici une gelée fondamentale encore très riche en matière jaune.

Dans ce milieu de gelée brune soumise à l'imprégnation bitumineuse, la gélose des thalles est passée à l'état de corps jaunes semblables à ceux des bogheads. Il s'y produisait donc normalement une localisation des hydrocarbures semblable à celle que j'ai signalée dans les algues des bogheads. De même les poussières végétales cellulosiques enfouies sans humification

préalable ou ayant subi divers degrés d'humification présentent des localisations d'hydrocarbures et de bitume qui sont exactement celles que présentent les mêmes corps dans les bogheads. Il y a donc là un processus normal et très général de transformation des corps végétaux soumis à la fossilisation, dans ces conditions. Nous voyons ainsi se produire, d'une manière régulière et simultanément, les diverses variétés de charbons qu'on trouve associées dans les houilles.

§ VI. — *Les matières minérales accidentelles du Brown Oilshale.*

J'ai fait connaître la localisation de l'argile par la gelée fondamentale.

Les matières minérales accidentelles du Brown Oilshale sont la calcite, la glauconie, des microcristaux incolores biréfringents que je n'ai pu déterminer. Il y a de la pyrite et une matière jaune d'or qui se présente concrétée ou en gouttelettes.

La calcite est représentée par quelques rares cristaux.

La glauconie ne se montre que de loin en loin en cristaux verts transparents.

Les petits cristaux indéterminés biréfringents consistent en bâtonnets incolores, rectilignes, minces, en forme de bacilloïdes. Ils sont, soit isolés, soit placés dans l'intérieur des bacilloïdes. Les plus longs de ces cristaux paraissent parfois segmentés comme s'ils étaient formés de deux cristaux plus petits placés bout à bout. Ils ne sont visibles qu'à un grossissement supérieur à 500 diamètres. Ils sont un peu plus fréquents que les bacilloïdes.

La pyrite est répartie en amas arrondis à travers toute la masse. Elle est un peu plus abondante dans les zones rousses que dans les zones orangées. Elle forme des fusées plus abondantes le long des fentes où le bitume s'est accumulé. La

taille des cristaux de pyrite peut s'abaisser à celle des micrococcoïdes.

J'ai rencontré dans les deux échantillons que j'ai étudiés d'assez nombreuses granulations d'une matière jaune, concrétée, semblable à celle de l'argile réfractaire supérieure du boghead d'Hartley. Ce sont de petites sphères pleines, jaune d'or ou orangées, très réfrangibles, isolées ou ramassées par petits groupes irrégulièrement dispersés.

§ VII. — *Conditions géogéniques de la formation du Brown Oilshale.*

L'analyse que je viens de donner du Brown Oilshale permet de fixer les principales conditions géogéniques de la formation du charbon humique de Broxburn.

1. — L'absence de toute parcelle clastique implique une eau génératrice parfaitement calme.

2. — Le dépôt de gelée fondamentale impose que cette eau soit chargée de matières humiques solubles qu'elle laisse facilement précipiter. Il s'agit donc d'eaux brunes. La gelée fondamentale n'ayant pas atteint le même degré d'humification dans toutes ses parties, c'est que la matière brune dissoute était à un état d'humification relativement faible. Cet état s'accentuait là où la charge locale de l'eau en menus débris humifiés était plus grande. En ces points aussi la gelée fondamentale acquérait sa charge maxima en corps bactérioïdes.

3. — L'eau génératrice du Brown Oilshale recevait, mais en très faible quantité, un apport de menus débris végétaux humifiés, et les pluies de soufre d'une région où la végétation était riche en Cryptogames vasculaires variées. Menus débris, spores et grains de pollen sont à l'état sporadique par rapport à la gelée fondamentale.

4. — La vie des algues flottantes était possible dans ces mares anthracigènes, comme le montre la présence des thalles d'Epipolaïa, mais ces fleurs d'eau n'avaient pas envahi la surface de l'eau génératrice de manière à y produire une nappe vivante superficielle. Tout en subissant ici la même évolution que dans les charbons d'algues, la matière gélosique est en quantité trop minime pour donner au charbon des caractères spéciaux. Le rôle de cette gélose est aussi efficace ici que celui du pollen ou que celui des menus débris humifiés.

5. — En se déposant, peut-être même en se précipitant, la gelée fondamentale a fait prise. Elle a donné une masse continue de consistance suffisamment forte pour se contracter ensuite massivement. Plus tard, cette gelée s'est coupée et le déplacement de ses fragments a produit ces figures de stratification disloquée si caractéristiques des *schistes cirés*.

6. — Sur cette gelée brune il s'est produit une abondante localisation de matière argileuse par action élective.

7. — La gelée brune a été soumise à la fossilisation en présence du bitume. Elle a subi une imprégnation bitumineuse tardive qui l'a faiblement enrichie en matières hydrocarbonées. Le bitume imprégnant était extrêmement peu condensé. La gelée fondamentale à un état d'humification très peu accentué avait ici une capacité rétentrice particulièrement faible.

§ VIII. — *Caractéristiques du Brown Oilshale de la région de Broxburn.*

Comme conclusion particulière de cette première monographie, je résumerai comme il suit les caractéristiques du Brown Oilshale ou charbon humique de la région de Broxburn.

1. — Malgré son aspect schisteux, le Brown Oilshale doit être regardé comme un charbon parce que la matière organique

y prédomine optiquement sur la matière minérale et qu'elle donne à la roche ses caractéristiques principales.

2. — Le Brown Oilshale est de la gelée brune solidifiée, fossilisée en présence d'un bitume. La gelée fondamentale n'a retenu ce bitume qu'en faible quantité. Le Brown Oilshale est donc un charbon humique. Nous verrons, par les comparaisons que nous serons amené à faire, en exposant les caractéristiques spéciales d'autres charbons humiques, que le Brown Oilshale peut servir de type à cette classe de charbons.

3. — La gelée fondamentale qui forme le Brown Oilshale n'était pas parvenue au même degré d'humification dans toutes ses parties. De là son aspect hétérogène, zoné et finement stratifié. L'humification était peu avancée. Les parties les plus fortement humifiées sont les plus rousses et les plus foncées. La gelée fondamentale est par suite faiblement colorée et sa réfringence reste voisine de celle des parois cellulaires végétales.

4. — Au moment de son dépôt la gelée fondamentale a fait prise en une masse de consistance forte. En se contractant lors du premier retrait elle n'a pris nulle part une structure réticulaire. Par contre, elle s'est coupée par de grandes fentes. Les fragments ont glissé les uns sur les autres; de là, sur les tranches verticales, une structure dite en *stratification disloquée* propre aux *schistes cirés*. La matière était encore parfaitement plastique quand ces glissements se sont produits. Les objets accidentels comme les spores, le pollen et les menus débris humifiés enfermés dans la gelée faisaient déjà corps avec cette gelée.

5. — La contraction verticale de la gelée est 2,5 fois plus forte que celle des écailles ganoïdes qu'elle contient. Elle est 1,66 fois plus forte que celles des thalles d'*Epipolaïa*. Tous les corps humifiés enfermés dans la gelée ont agi comme des corps durs par rapport à celle-ci. Les corps humifiés sont donc entiers et non fracturés par des fissures tardives loca-

lisées dans ces corps. La contraction de la gelée fondamentale a été plus intense, là où elle est le plus colorée, c'est-à-dire là où elle est le plus fortement humifiée et où, par suite, elle a le plus fortement retenu le bitume.

6. — La prise de la gelée fondamentale lors du dépôt est établie par l'état incomplètement affaissé des corps accidentels qu'elle contient et par les écailles ganoïdes qu'elle tient en suspension.

7. — La gelée fondamentale a localisé l'argile par action élective. Cette action a eu son intensité maxima dans ses parties les plus fortement humifiées. La quantité d'argile ainsi localisée est assez élevée.

8. — Les corps bactérioïdes sont relativement peu nombreux dans la gelée fondamentale du Brown Oilshale. Ce sont surtout des micrococcoïdes très petits, de 0 μ 5 à 0 μ 8. Ils sont simples ou couplés en diplocoques. Il y a quelques bacilloïdes mesurant de 2 μ 5 à 4 μ 6 sur 0 μ 8. Diplocoques et bacilloïdes sont en général posés à plat. Les grands bacilloïdes contiennent des cristaux. Ces corps bactérioïdes ont l'aspect de spores bactériennes. Ils ne sont pas nettement bullaires dans ce charbon, je les crois plutôt pleins. Ils sont parfois juxtaposés à des bulles. Les bactérioïdes sont beaucoup plus nombreux dans les parties rousses de la gelée fondamentale que dans ses parties orangées.

9. — Les corps jaunes du Brown Oilshale sont d'une part certaines zones moins humifiées de la gelée fondamentale et d'autre part des corps figurés. Ces derniers sont peu abondants. Parmi eux certains sont d'origine cellulosique comme les spores et les grains de pollen, d'autres sont de nature gélosique, comme les thalles d'*Epipolaïa Boweri*, les troisièmes sont de nature osseuse ou cartilagineuse comme les plaques osseuses des écailles ganoïdes et les fragments squelettiques. Ce sont les corps jaunes provenant de la gelée fondamentale

et des écailles animales qu'on remarque tout d'abord, les premiers parce qu'ils forment de grandes zones et qu'ils sont beaucoup plus abondants, les seconds parce qu'ils se détachent nettement et que leur présence est soulignée par une plus forte localisation du bitume.

10. — Les corps accidentels ajoutés à la gelée fondamentale du Brown Oilshale lors de sa précipitation sont en très faible quantité. Ils n'interviennent pas pour 0,001 dans ce charbon. Les poussières végétales non humifiées y sont représentées par des spores de Cryptogames vasculaires et des grains de pollen. Les menus débris humifiés sont très fragmentaires, peu abondants. Ce sont les corps moyennement humifiés qui dominent. Les vrais fusains sont rares ou manquent complètement. Il y a quelques lames cuticulaires isolées. Les fleurs d'eau sont indiquées par quelques thalles d'*Epipolaïa Boweri*, les débris animaux par des écailles ganoïdes. Tous ces corps sont très bien conservés; chacun d'eux a localisé le bitume et les matières hydrocarbonées comme il le fait dans les masses organiques qui ont donné les charbons d'algues. Les diverses variétés de charbon qu'on voit associées dans une houille se produisaient ici simultanément. Les débris végétaux rouge brun et les plaques osseuses ont localisé le bitume plus fortement que les autres parties.

11. — Les fossiles caractéristiques du Brown Oilshale sont : des spores de Cryptogames vasculaires variées, des grains de pollen, des thalles d'*Epipolaïa Boweri*, qui deviennent par endroits très rares, comme dans l'échantillon de M. Cambray, des écailles ganoïdes. Il n'y a ni Diatomées, ni spicules de Spongiaires, ni coquilles d'Ostracodes, ni coprolithes. Je n'ai pas trouvé de bactéries dans les canalicules osseux des écailles ganoïdes que j'ai observées. J'ai trouvé les plaques d'émail taraudées dans le spécimen de M. Cambray, alors qu'elles ne le sont pas dans les écailles du spécimen de M. Bower.

12. — Le Brown Oilshale ne contient aucune parcelle minérale clastique.

13. — La masse organique du charbon de Broxburn a été enrichie en matières hydrocarbonées par addition de bitume.

La pénétration du bitume a été tardive. On voit le bitume libre dans le fond des grandes fissures demeurées entr'ouvertes. Il s'agit d'un bitume très peu condensé. Ce corps a traversé la masse de la gelée fondamentale par une sorte de diffusion générale. On ne voit pas de canalicules d'injection ou de poches, et cependant le bitume comble les cavités des corps humifiés, qu'ils soient enfermés dans la gelée jaune ou dans la gelée rousse. — La rétention de ce bitume a été faible, la gelée fondamentale, qui était ici son principal agent de localisation, étant à un degré d'humification peu avancé.

14. — Outre la forte proportion d'argile localisée par sa gelée fondamentale, le Brown Oilshale contient encore comme matières minérales accidentelles de la calcite, quelques cristaux de glauconie, de petits cristaux bacillaires, de la pyrite en masses arrondies uniformément réparties, sauf au voisinage de quelques fissures où cette pyrite forme des traînées. La charge du Brown Oilshale en matières minérales s'élève à 67,18 pour cent. C'est à cette forte minéralisation que la roche doit son aspect schisteux.

CHAPITRE II

LE SCHISTE DU BOIS D'ASSON

SOMMAIRE :

§ I. — Ce qu'est le schiste du Bois d'Asson. — Origine des échantillons étudiés. — Région où on le rencontre. — Sa composition chimique.

§ II. — Caractères macroscopiques du schiste du Bois d'Asson, d'après la roche en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence.

§ III. — Description de la gelée fondamentale.

a. — Aspect de la gelée fondamentale contractée et solidifiée. — Ses caractères particuliers.

b. — La contraction de la gelée. — Ses déchirures horizontales. — L'exsudat des fissures horizontales.

c — La rétention du bitume par la gelée fondamentale.

d. — La rétention de la matière minérale par la gelée fondamentale.

§ IV. — Les corps accidentels contenus dans le schiste du Bois d'Asson.

a. — Les diverses catégories de corps accidentels rencontrés dans le schiste du Bois d'Asson.

b. — Les poussières végétales non humifiées.

α. — Les grains de pollen.

β. — Les spores de champignons.

c. — Les menus débris humifiés.

d. — Les Diatomées.

e. — Les spicules de Spongiaires.

f. — Les lames chitineuses.

g. — Les fragments résineux.

h. — Les fleurs d'eau.

§ V. — L'intervention bitumineuse. — Intensité de l'intervention bitumineuse. — Époque de la pénétration du bitume. — Divers états sous lesquels le bitume se manifeste. — Discussion des attributions qui pourraient être proposées pour les corps rouge-brun.

§ VI. — Les matières minérales accidentelles et tardives dans le schiste du Bois d'Asson.

§ VII. — Les conditions géogéniques de la formation du schiste du Bois d'Asson.

§ VIII. — Les caractéristiques du schiste du Bois d'Asson.

§ I. — *Ce qu'est le schiste du Bois d'Asson. — Origine des échantillons étudiés. — Région où on rencontre ce schiste. Sa composition chimique.*

Le schiste oligocène du Bois d'Asson est un second exemple de charbon humique. Il consiste en effet en une masse de gelée brune solidifiée et fossilisée en présence d'un bitume. Les corps gélosiques accidentels y sont assez nombreux pour nous permettre de saisir le passage des charbons humiques aux charbons d'algues. D'autre part le mode de déchirure de la gelée fondamentale et la manière d'être des gouttelettes bitumineuses qui y sont enfermées vont nous faire connaître une modification intéressante des charbons humiques.

Malgré son aspect schisteux, je regarde la roche du Bois d'Asson comme un charbon, parce que la matière organique y prédomine optiquement sur la matière minérale et qu'elle donne à la roche ses principales caractéristiques. La charge du schiste du Bois d'Asson en matières minérales est élevée, elle atteint 62,79 pour cent. Une partie de la silice devrait être défalquée de cette matière minérale parce qu'elle est due à l'intervention de certains organites tels que des valves de Diatomées et de nombreux spicules des Spongiaires.

J'ai pu obtenir, mais non sans peine, des échantillons assez variés de ce schiste du Bois d'Asson qu'on exploite d'une façon intermittente en un point des Basses-Alpes. J'ai d'abord reçu ce schiste sous le nom de schiste de Marseille. Je devais ce premier échantillon à MM. Renault et Grand'Eury. Ils le tenaient de M. l'ingénieur Leveillé. Ce premier spécimen venait des usines d'Aubagne, près Marseille, où on travaille le schiste du Bois d'Asson. Grâce à M. l'inspecteur d'Académie Dauthuile, de Digne, et à M. Gustave Tardieu, de Sisteron, je pus obtenir plus tard, par l'intermédiaire de M. Louis Rousse, une série

de spécimens de la vallée de la Largue. Le schiste du Bois d'Asson s'y trouvait représenté par de très beaux échantillons. Il me fut possible de contrôler et d'étendre les résultats de mes premières observations. En août 1897, je fis une rapide reconnaissance du gisement du Bois d'Asson. Depuis, M. l'ingénieur Carle, d'Aubagne, a bien voulu me faire réunir une série complète d'échantillons pris dans les diverses couches du schiste du Bois d'Asson par M. Stanislas Naulin, maître mineur à Dauphin.

Le schiste du Bois d'Asson se trouve dans la vallée de la Largue, à l'est de Sainte-Maime. La couche principale de schiste, épaisse de $0^{m}60$, affleure dans la gorge du Bois d'Asson. On la voit à une petite distance, derrière la mine de lignite dite du Bois d'Asson. La couche plonge vers le nord-ouest. On y a creusé une petite galerie par laquelle se fait l'exploitation. Ce banc n'est pas seul. On constate sur le sentier menant à la galerie la présence d'autres lits de schiste, plus minces, affleurant dans la gorge. On voit aussi des lits schisteux de même nature affleurer sur les deux faces de l'éperon montagneux qui précède la gorge du Bois d'Asson quand on vient de Sainte-Maime par la route de Dauphin à Volx. Il s'agit donc d'une formation schisteuse qui s'est répétée plusieurs fois. Elle est comprise dans un système lacustre, dont les couches argilo-calcaires présentent des empreintes de poissons et des empreintes végétales. Cette formation est Oligocène.

Le mur du schiste du Bois d'Asson est un schiste gris bleu, il passe rapidement au schiste marron de la couche. Le toit est formé par une dalle marron clair, qui devient de plus en plus grise. Elle est assez dure. Par suite de cette variation de consistance le toit est nettement séparé de la couche. La dalle du toit n'est pourtant que la continuation de la couche, mais très fortement minéralisée. On y retrouve les mêmes algues flottantes et les mêmes gouttelettes de bitume. Les Diatomées et

les spicules ont disparu. Il y a quelques rares coquilles de Cypris. Immédiatement sous la dalle, on trouve déjà des spicules et des lames cornées. Les Diatomées sont encore rares et mal conservées. Les organismes desmidiformes, le pollen et les spores sont bien représentés. Dans l'épaisseur du schiste marron, il y a des lenticules plus durs, pauvres en lamelles bitumineuses. Ce sont des points plus chargés de matières minérales. Au moment où on ouvre les feuillets de la roche fraîche, elle dégage une forte odeur d'hydrogène sulfuré et de pétrole.

D'après M. Louis Rousse, maître mineur au charbonnage de Lincel, qui connaît très bien le schiste si particulier du Bois d'Asson, on a rencontré et exploité un schiste semblable dans le flanc est du ravin que suit la route qui va de la gare de Lincel à Saint-Martin de Renacas. Je n'ai pas vu jusqu'ici d'échantillon provenant de ce dernier point. Le gisement de Lincel est à environ 12 kilomètres à l'ouest du Bois d'Asson.

L'analyse du schiste du Bois d'Asson, faite par M. le professeur A. Buisine, a donné les résultats suivants :

Eau	3.52	. . . .	3.52
Matières organiques . . .	33.69	. . . .	33.69
Partie soluble dans l'acide chlorhydrique.	11.80	Silice soluble.	0.82
		Alumine	3.37
		Carbonate de chaux . . .	3.05
		Autres corps	4.56
Partie insoluble dans l'acide chlorhydrique. . . .	50.99	Silice	39 95
		Alumine	8.27
		Autres corps.	1.77
	10.000		10.000

Une partie de la silice insoluble provient des valves de Diatomées et des spicules de Spongiaires contenus dans ce schiste, c'est en réalité de la silice d'origine organique.

§ II. — *Caractères macroscopiques du schiste du Bois d'Asson, d'après la roche vue en morceaux et d'après les coupes minces, vues par transparence.*

D'après des morceaux séchés, *sans avoir été soumis à des alternatives de soleil et de pluie*, le schiste du Bois d'Asson se montre comme un schiste mat, brun clair, lourd. Il se présente en plaques épaisses, bordées par des fentes verticales de retrait très espacées. La surface de ces fractures naturelles est marron foncé, terne, couverte de très fines saillies horizontales qui indiquent une matière finement stratifiée.

La cassure verticale fraîche est esquilleuse, à la manière d'un schiste compact, marron foncé et terne. En éclairant convenablement la cassure, on y remarque à la loupe de très petites lignes horizontales plus noires, dont la cassure est brillante. Elles correspondent à de petites masses bitumineuses aplaties. Ce caractère très précis s'efface rapidement, dès que la cassure vieillit ou lorsqu'elle subit une légère usure. Sur les cassures usées, ces petites masses bitumineuses forment de minces écailles noires fragiles. Lorsqu'il a été exposé au soleil et à la pluie, le schiste bleuit, il devient très clair et il se délite en plaquettes minces à la manière du schiste de Menat. C'est ce dernier aspect qu'il présente dans ses affleurements.

La tranche verticale faite à l'émeri a un aspect très spécial. La coloration est brun clair comme celle des Kerosene shale de Joadja Creek, mais le fond général est picoté d'une infinité de points plus clairs extrêmement petits. Examinée à la loupe, la tranche paraît chagrinée. Chaque point clair est un sillon irrégulier, ramifié avec de fines expansions latérales s'étendant en tous sens. Ces canalicules ne se rattachent pas l'un à l'autre. Sur ces tranches verticales la stratification n'est indiquée que

par quelques fissures horizontales provenant de l'ouverture de quelques très grandes fentes de retrait et par quelques rares lignes horizontales plus saillantes et plus noires dues aux grandes lames bitumineuses. Cet aspect est donc très différent de celui des cassures fraîches. Il ne renseigne presque pas sur la structure de la roche. On ne voit aucune trace de stratification disloquée sur ces tranches verticales. Ce caractère distingue le schiste du Bois d'Asson des morceaux compacts et réguliers du Brown Oilshale.

Les cassures horizontales ne donnent également que de très faibles indications sur la structure de la roche. Le schiste se fend en feuillets à surfaces horizontales un peu irrégulières. Si la cassure ne passe pas par une fente ancienne, la teinte est marron foncé, et sur le fond terne, on remarque de petits points noirs, brillants, écailleux. Les plus grandes de ces écailles sont fracturées par retrait parallèlement à leur longueur. On ne voit que très rarement de petits lambeaux de feuilles. Sur les très grandes plaques cependant on trouve parfois des feuilles entières. Quand la cassure horizontale passe par une grande fissure de premier retrait, sa surface est gris verdâtre, terne, très irrégulière, finement esquilleuse. Ces régions sont brusquement limitées par le schiste marron sur lequel elles tranchent fortement.

Les morceaux peu étendus du schiste du Bois d'Asson ne montrant pas de fentes verticales de retrait, il est très difficile d'y fixer l'orientation des coupes verticales transverses et radiales. Il en résulte que l'orientation de ces coupes peut paraître indifférente. J'ai remarqué pourtant que les grandes fractures verticales sont parallèles à la ligne d'orientation de la majorité des spicules en navette. Il convient donc d'orienter les sections, en tenant compte de cette observation. C'est d'après des coupes ainsi orientées, que je donnerai les descriptions qui suivront. J'appelle transversale, la ligne de maximum de retrait

horizontal. Elle est perpendiculaire à la direction des grandes fentes. Toute coupe verticale parallèle à la transversale est une coupe transversale. — Les coupes verticales radiales sont perpendiculaires aux coupes transversales et, par suite, parallèles à la surface des grandes fentes verticales, elles montrent un plus grand nombre de spicules fusiformes, coupés parallèlement à leur grand axe.

Vu à la loupe et par transparence sur une coupe transversale (fig. 29, Pl. V), le schiste du Bois d'Asson est roux, piqué de très petits points blancs transparents. La matière est stratifiée, mais non zonée. La stratification est soulignée par de fines lignes grises qui sont des fentes de retrait et par des filets horizontaux brun-rouge, qui sont des gouttes bitumineuses affaissées. La taille détermine l'ouverture des fissures horizontales.

Au grossissement de 30 diamètres et toujours par transparence, la roche du Bois d'Asson montre un fond jaune-brun légèrement ondulé, dans lequel sont couchés des corps qui soulignent sa stratification. De loin en loin, on aperçoit de petites déchirures horizontales. La matière qui les remplit, ayant localisé les micro-cristaux tardifs, ces points dispersent la lumière, la fente se détache en blanc ou en jaune pâle sur le fond. Quelques-unes de ces fentes s'étendent horizontalement et s'élargissent. Parmi les corps qui chargent le fond, je signalerai par ordre d'importance :

1° De minces lames rouge-brun qui sont des masses de bitume. En quelques points ces masses bitumineuses, contractées, se sont séparées de la matière entourante et la cavité a été comblée par de gros cristaux tardifs incolores ;

2° De petits corps jaune d'or très clairs, inégaux, très isolés les uns des autres; ce sont les thalles du *Botryococcites Largné* ;

3° De minces lames jaune clair, isolées, qui sont des grains de pollen.

4° Des cercles blancs transparents ou plus rarement des

rectangles également blancs et transparents, qui sont des sections transversales et radiales de valves d'Orthosira ;

5° Des spicules fusiformes couchés horizontalement dont la plupart sont coupés transversalement ;

6° Quelques rares lambeaux fusinifiés très noirs ;

7° Des fragments résineux jaune de cadmium ;

8° Comme cristaux tardifs on reconnaît de suite des cristaux de calcite et de glauconie. La pyrite est uniformément répartie en très petits cristaux.

A un grossissement faible on a donc déjà un très bon aperçu d'ensemble des nombreux corps enfouis dans la gelée fondamentale du schiste du Bois d'Asson.

Examinée à la loupe et par transparence, une coupe horizontale du schiste du Bois d'Asson montre une matière brun clair dans laquelle se détachent de nombreux spicules fusiformes blancs transparents, orientés en tous sens. Il y a cependant une majorité de spicules orientés parallèlement aux bords radiaux de la coupe. On y voit aussi de petites masses bitumineuses rouge brun, irrégulières, isolées. Il y a encore de très petits points jaune d'or produits par les Botryococcites. Quelques rares fragments fusinifiés et des îlots pâles, irréguliers, dus à des cristaux tardifs qui sont venus remplir les cavités des masses bitumineuses fortement contractées. On voit aussi des plages jaunes ou grises où la lumière est fortement diffusée. Elles correspondent à des fentes horizontales de retrait.

Au grossissement de 30 diamètres, les coupes horizontales montrent un fond brun clair très pâle tout parsemé de taches bitumineuses et de spicules en navette. Les thalles de *Botryococcites Largæ* assez nombreux forment de petites taches framboisées jaune d'or. On ne voit pas les grains de pollen. De nombreux spicules en navette légèrement arqués sont couchés à plat. Il y a une direction prédominante parallèle aux fentes

radiales. On voit aussi de loin en loin des disques d'Orthosira. Les lambeaux fusinifiés sont rares, fragmentaires; on reconnaît de suite que ce n'est pas le fusain produit par les membranes végétales ordinaires.

La pyrite abondante est distribuée partout en cristaux isolés et en petites masses compactes. Les cristaux de glauconie et de calcite sont assez gros, mais rares. On voit aussi quelques plages grises chargées de menus cristaux, qui correspondent à de très fines fissures horizontales.

§ III. — *Description de la gelée fondamentale.*

A. — ASPECT DE LA GELÉE FONDAMENTALE SOLIDIFIÉE ET CONTRACTÉE. SES CARACTÈRES PARTICULIERS.

Je n'ai pas rencontré de nodules siliceux ou de plaquettes silicifiées, dans l'épaisseur de mes échantillons du schiste du Bois d'Asson, il ne m'a donc pas été possible d'observer la gelée fondamentale, avec l'aspect qu'elle avait au moment de son dépôt. De même que pour le Brown Oilshale, je ne puis décrire cette gelée que d'après ses parties solidifiées et contractées. — Pour l'étude de la gelée ainsi contractée, les préparations doivent présenter les qualités que j'ai énumérées page 31 (1).

En dehors des fentes à exsudat, la gelée fondamentale du schiste du Bois d'Asson a une structure uniforme dans toute

(1) Parmi les échantillons que j'ai reçus de la vallée de la Largue, j'ai trouvé un calcaire très argileux avec zones silicifiées présentant la gelée fondamentale dans son état primitif avec pollen de pin et Desmidiées bien étalées. Il se pourrait donc qu'en cherchant plus longuement dans les couches de schistes on trouvât quelques parties silicifiées. Elles donneraient de précieuses indications. Malgré son aspect et sa dureté la dalle qui forme le toit ne montre la gelée fondamentale que contractée. Cette gelée y est déchirée en un réseau de plus en plus raréfié dont les mailles sont comblées par de la matière minérale.

sa hauteur. Il s'agit d'une gelée nettement stratifiée (fig. 30, Pl. V). Sa stratification est fortement soulignée par les grains de pollen, par les thalles, par les spicules et par les lamelles bitumineuses. — Cette gelée fondamentale est jaune clair, très pâle, par conséquent à un état de transformation humique très peu avancé. Elle rappelle les zones claires du Brown Oilshale. Le degré d'humification était le même dans toutes les parties de la gelée. De là une teinte uniforme qui contraste avec la structure zonée du schiste écossais. Il s'agit dans cet exemple d'une gelée humique pure sans intervention de matières stercoraires.

La gelée fondamentale du schiste du bois d'Asson est très légèrement réticulée. Cette structure n'est rendue sensible que par une teinte rousse qui dessine un fin réseau à mailles horizontales ondulées. On passe de la partie rousse à la partie jaune; il n'y a aucune limite nette entre ces deux parties. On remarque seulement que les gouttelettes et les fines lamelles bitumineuses sont toujours dans l'épaisseur des filets de la trame rousse. L'indication de cette structure réticulaire ne peut être saisie du premier coup d'œil. Il faut un examen prolongé des coupes pour la reconnaître. Cette réticulation n'est peut-être due qu'à une contraction locale un peu plus forte des parties de la gelée qui sont au contact immédiat des parcelles bitumineuses. J'ai des raisons de penser cependant qu'il y a là l'indice d'une première tendance de la gelée fondamentale à se séparer en un coagulum réticulé et une partie un peu fluide, au moment où la gelée a fait prise. Une gelée aqueuse de gélose à 0,004 donne, en se solidifiant, l'image d'un fait analogue. Cette première trace de réticulation dénote aussi pour moi une consistance moins forte de la gelée fondamentale. La dilution de cette matière lors de sa précipitation était plus grande. Le réticulum et la partie claire sont également répartis à travers toute la masse.

On voit une confirmation de l'existence d'une partie plus fluide dérivant de la gelée fondamentale dans la matière qui emplit les cavités des objets qui y sont immergés. Ainsi, la cavité des spicules fusiformes, celle des spicules sphérulaires, celle des Diatomées (fig. 55, Pl. VI), est comblée par une substance jaune pâle à peu près aussi réfringente que les parois des cellules polliniques. Elle est sans bactérioïde ou très pauvre en bactérioïdes. C'est la partie la plus fluide de la gelée fondamentale qui a filtré à travers les petits orifices des spicules et des Diatomées ou à travers leurs parois et qui est venue combler leurs cavités (fig. 31, Pl. V).

La réfringence de la gelée fondamentale est très voisine de celle de la paroi des grains de pollen enfermés dans cette gelée. Comme la coloration des deux corps est peu différente, toutes les fois que les grains de pollen s'y présentent sous une faible épaisseur, ils échappent à l'observation. C'est ce qui arrive régulièrement sur toutes les coupes horizontales et sur les coupes verticales qui sont très minces. Les Diatomées à parois minces échappent au contraire sur les coupes verticales épaisses, tandis qu'elles restent très visibles, à cause de leurs ornementations, sur les coupes horizontales. Quand on constate ainsi avec quelle facilité, des organismes aussi différenciés que des grains de pollen et des Diatomées échappent à l'observation, on peut se demander si une foule d'autres organisnes, dont la membrane est moins caractérisée, ne nous échappent pas complètement dans l'épaisseur de la geléc fondamentale. Les colorations électives que j'ai tentées ne m'ont rien donné qui indiquât la présence de tels êtres, mais je reconnais volontiers qu'il faudrait multiplier beaucoup ces essais avant de se prononcer définitivement. Il y a là une technique qui est à créer tout entière.

La gelée fondamentale du schiste du Bois d'Asson a fait rapidement prise. Cela résulte du fait que les spicules lourds

exemples (fig. 31, Pl. V, fig. 35 et 36, Pl. VI). — Les macrococcoïdes sont relativement nombreux.

Les micrococcoïdes sont extrêmement petits. Ils mesurent 0 μ 1 à 0 μ 2. Ils sont uniformément mêlés aux macrococcoïdes et plus nombreux que ceux-ci. Ces corps sont trop petits pour qu'il soit possible de décider s'ils sont pleins ou creux. Ils m'ont souvent paru bullaires. Ils sont isolés. Je n'ai pas observé les groupements en diplocoques, signalés dans le Brown Oilshale.

Les bacilloïdes sont des corps en bâtonnets, d'aspect bullaire, dont la surface fait membrane. Autour est une enveloppe transparente qui passe au fond. La bulle a un contour très nettement limité. Elle mesure 2 à 4 μ de longueur sur 0 μ 5 à 0 μ 7 de largeur. Elle est arrondie aux deux bouts. Quelques-unes de ces bulles sont horizontales, d'autres sont redressées ou même verticales. Quelques-unes ont une extrémité courbée. Je n'ai jamais vu de macrococcoïdes dans ces bacilloïdes. L'aspect brillant et bullaire des bacilloïdes est le même que celui des macrococcoïdes. Les bacilloïdes sont peu répandus. Les fig. 32 et 36, Pl. V et VI, représentent une des régions les plus chargées que j'aie dessinées.

B. — CONTRACTION DE LA GELÉE FONDAMENTALE. — SES DÉCHIRURES HORIZONTALES. — L'EXSUDAT QUI REMPLIT LES FISSURES HORIZONTALES.

J'ai déjà relevé une première contraction de la gelée fondamentale contemporaine de sa coagulation. Elle n'est peut-être que la conséquence immédiate de l'action des gouttelettes bitumineuses sur les parties de la gelée avec lesquelles elles étaient en contact; mais il suffit qu'une gelée soit très diluée pour qu'elle présente spontanément cette tendance à se séparer en un coagulum réticulé et une matière de remplissage plus fluide. Cette première contraction a été ici très faible. De ce fait, la

réduction de volume de la masse n'a pas été sensible, la gelée en a conservé seulement une structure réticulaire.

Les grandes contractions sont postérieures à cet état. Elles se sont exercées ici sur une gelée ayant une structure stratifiée et réticulée. Nous pouvons avoir une idée assez précise de la contraction totale subie par la gelée fondamentale pendant sa solidification, grâce aux repères que nous fournissent les spicules lourds et les grands disques d'Orthosira. La contraction subie par ces corps siliceux, en se desséchant, a été faible. Elle n'a que légèrement modifié leurs dimensions primitives. Mesurée par rapport à des spicules et à de gros disques d'Orthosira, la contraction de la gelée fondamentale à été trouvée de 2 sur la verticale, de 1,53 sur l'horizontale transverse et de 1,43 parallèlement aux fentes longitudinales. C'est en volume une réduction totale de 4,37. La concentration de la gelée humique par rapport à son état primitif serait ainsi inférieure à 5 ou 6. Cette concentration serait donc extrêmement faible, elle ne donnerait pas une gelée solide. La gelée brune n'a donc pas fourni à elle seule par le fait de sa contraction la totalité des matières hydrocarbonées contenues dans le schiste du Bois d'Asson. De là l'obligation d'un enrichissement de la masse en hydrocarbures par un apport étranger.

La gelée du schiste oligocène n'a pas été coupée par de grandes fentes obliques comme celles du Brown Oilshale. Elle n'a pas présenté non plus ces glissements qui déterminent la structure en stratification disloquée.

La contraction horizontale a déterminé l'ondulation des grains de pollen. Pour la même raison les Diatomées sont souvent pliées en ∞ ou en N (fig. 31, Pl. V). La gelée s'est donc plus fortement contractée dans le sens horizontal que ces corps. Aucun d'eux n'offre ces fentes verticales si caractéristiques d'une contraction horizontale plus intense des corps

cellulosiques enfouis dans la gelée fondamentale du Kerosene shale d'Hartley. Très tardivement, après solidification complète de la roche, la contraction horizontale a déterminé de grandes fentes verticales. Ces fentes sont demeurées ouvertes. Les lits de la gelée stratifiée y forment saillie. Ces fissures verticales sont comblées par de grands cristaux tardifs qui ont ressoudé la roche. Il n'y a pas d'exsudat dans ces fentes verticales. Elles coupent les fissures horizontales.

La contraction verticale est particulièrement intéressante. Son action modificatrice s'est fait sentir alors que les gouttelettes bitumineuses solidifiées faisaient déjà corps avec la gelée fondamentale; cependant la masse était encore assez imparfaitement solidifiée pour laisser filtrer un exsudat chargé de Diatomées et de fins spicules dans les déchirures produites. On voit en effet dans la masse de la gelée, très irrégulièrement réparties, plus nombreuses au voisinage des grandes fentes horizontales tardives, de petites fissures horizontales ou presque horizontales, les feuillets de la gelée se sont écartés comme on écarte les doigts de la main placés horizontalement, en circonscrivant de petits espaces lenticulaires à angles latéraux très aigus (fig. 31, Pl. VI). Des lits partent de la marge de ces lentilles et tantôt les traversent, tantôt s'y arrêtent nettement rompus. Un exsudat de remplissage dense comble les cavités de ces fissures. La gelée qui entoure ces lentilles, les ponts qui la traversent, les trabécules ou lamelles qui s'y avancent, ont une structure uniforme ; c'est celle de la gelée fondamentale avec tous les corps accidentels dont elle est chargée, spicules lourds, disques d'Orthosira, grains de pollen, thalles, corps bactérioïdes en nuage, gouttelettes et lamelles bitumineuses ; ce sont là des parties de la gelée fondamentale écartées les unes des autres par simple traction mécanique. L'exsudat ne représente pas une pelote gélatineuse d'une autre nature déposée en même temps que la gelée générale. Rien

dans l'attitude de la matière de remplissage ne justifie cette manière de voir. Les trabécules tendus à travers les fissures nous permettent de constater de plus que leur gelée fondamentale contient des gouttes et des lamelles de bitume semblables à celles du reste de la gelée. Le bitume y existait solidifié quand ces trabécules se sont séparés des lits voisins.

La matière de l'exsudat a une structure très uniforme qui contraste vivement avec celle de la matière entourante (fig. 33, Pl. V). Elle présente une gelée fondamentale très pâle, presque incolore, consistante. Dans celle-ci sont tenus en suspension des corps très petits et très légers. Des Diatomées minuscules, de très petits spicules sphériques à parois d'une minceur extrême ; de très petites pellicules de bitume cassées à angles vifs et de nombreux corps bactérioïdes. Les trois sortes de corps bactérioïdes y sont représentés. Ils sont bien isolés, très nets, uniformément répartis ; tandis que les sphérules et les Diatomées sont comme posés, soutenus, les bactérioïdes, qui sont là nettement bullaires, sont tenus suspendus, non posés, flottants. Jamais l'exsudat ne contient de corps volumineux ou de bitume en gouttelettes. Le bitume n'a pénétré dans l'exsudat que comme les Diatomées légères et les petits spicules sphérulaires, entraîné par l'exsudat même et déjà à l'état de minces écailles solidifiées. Les Diatomées tenues en suspension témoignent de la consistance du milieu. Ces mêmes Diatomées et ces spicules légers existent d'ailleurs dans la gelée générale ; on les y retrouve, mais difficiles à voir à cause de leur exiguïté et de la forte réfringence de la gelée générale. Quoique très légers, les grains de pollen ont été très rarement entraînés dans l'exsudat, parce qu'ils faisaient fortement corps avec la gelée générale. L'exsudat remplit exactement les fentes horizontales.

Ces déchirures horizontales de la gelée fondamentale sont fréquentes dans les schistes organiques. Elles s'y produisent souvent à une période beaucoup plus hâtive.

L'exsudat des fentes horizontales est le siège d'une localisation de micro-cristaux tardifs qui est toujours très accusée. Il s'y développe un très grand nombre de petits cristaux aciculaires, orientés radialement autour de l'axe d'un certain nombre de colonnettes. Ces cristaux ne pénètrent pas dans la gelée générale entourante. La quantité de matière minérale ainsi rassemblée dans ces fissures horizontales est assez grande. Son état microcristallin souligne, sous forme de bandes grises. visibles à la loupe, les fissures horizontales qu'elles occupent (fig. 29, Pl. V).

Certaines des fissures horizontales se sont agrandies très tardivement après consolidation complète de la roche. Dans ces fentes demeurées ouvertes la roche est ressoudée par de grands cristaux tardifs.

C. — LA RÉTENTION DU BITUME PAR LA GELÉE FONDAMENTALE.

La rétention du bitume par la gelée fondamentale du schiste du Bois d'Asson s'est faite autrement que dans le Brown Oilshale.

La gelée tertiaire étant à un état de condensation humique faible, sa capacité de combinaison pour le bitume était également faible. La gelée est peu colorée et seulement au voisinage immédiat des gouttes de bitume. Par places la diffusion s'est étendue plus loin, la matière bitumineuse vient teindre la gelée de remplissage des spicules et des Orthosira. Même alors cette diffusion reste très limitée, car le pollen et les thalles ne sont pas colorés. Le bitume n'a pas non plus envahi la matière des exsudats. La diffusion, qui a joué un rôle si important dans la répartition du bitume à travers le Brown Oilshale, n'a donc ici qu'un rôle restreint dans l'enrichissement de la matière en hydrocarbures.

Par contre la gelée tertiaire a retenu mécaniquement le

bitume. Les gouttelettes de ce corps qui y ont pénétré se sont rapidement figées, et elles sont demeurées là où nous les retrouvons. Le Brown Oilshale ne présentait rien de pareil. Le contraste entre les modes de rétention du bitume dans les deux roches est donc complet. Cette divergence tient surtout aux différences de qualités des matières bitumineuses qui ont agi sur la gelée brune et pour une part moindre aux différences d'état que présentait cette gelée, lorsqu'elle a été soumise à l'imprégnation des hydrocarbures.

D. — LA RÉTENTION DE LA MATIÈRE MINÉRALE PAR LA GELÉE FONDAMENTALE

Les cristaux sont rares dans la gelée fondamentale du schiste du Bois d'Asson. Je n'y ai vu aucune localisation de matière argileuse comme celle que nous avaient montrée les parties rousses du Brown Oilshale. Ici, d'ailleurs, la gelée était faiblement humifiée.

Par contre la matière minérale montre une localisation très accusée dans la gelée exsudée qui comble les fissures horizontales. Dans ces régions, la matière minérale tardive très abondante prend la forme de micro-cristaux aciculaires, orientés radicalement autour de certains axes verticaux.

La glauconie est localisée dans la gelée primitive.

La pyrite ne montre aucune trace de localisation.

§ IV. — *Les corps accidentels contenus dans le schiste du Bois d'Asson.*

A. — LES DIVERSES CATÉGORIES DE CORPS ACCIDENTELS TROUVÉS DANS LE SCHISTE DU BOIS D'ASSON

Les corps accidentels englobés par la gelée fondamentale au moment de son dépôt sont beaucoup plus nombreux dans

le schiste du Bois d'Asson que dans le Brown Oilshale. Ils sont en même temps très variés. Certaines catégories comme le pollen, les fleurs d'eau, les spicules, interviennent dans le volume de la roche pour quelques millièmes. On peut grouper ces corps accidentels de la manière suivante :

1. — Les poussières végétales non humifiées. Elles sont représentées par des grains de pollen et par quelques spores.

2. — Les menus débris végétaux humifiés qui consistent en fragments de parois végétales, en petits morceaux de feuilles et en spores. Les restes de cette catégorie sont extrêmement peu nombreux.

3. — Les valves de Diatomées.

4. — Les spicules de Spongiaires.

5. — Les fragments chitineux.

6. — Les fragments résineux.

7. — Les fleurs d'eau. Ces dernières, relativement abondantes, sont représentées par un genre d'algues gélatineuses libres et flottantes, le *Botryococcites Largæ*.

Bien que très hâtive, l'intervention des gouttelettes bitumineuses n'est pas immédiatement contemporaine du dépôt de la gelée. Elles ne peuvent être rangées dans les corps accidentels.

Je n'ai observé ni coprolithes, ni coquilles d'Ostracodes (1). Je n'ai vu aucune trace indiquant une végétation de fond ni dans le schiste brun de la couche ni dans le schiste gris qui forme son mur.

Je n'ai trouvé aucune parcelle clastique.

(1) J'ai relevé la présence de quelques rares coquilles de Cypris vers le milieu de la dalle qui forme le toit du schiste du Bois d'Asson.

B. — LES POUSSIÈRES VÉGÉTALES NON HUMIFIÉES.

α. — *Les grains de pollen* (fig. 30 et 32, Pl. V). — Les grains de pollen consistent en lames jaunes d'or, ondulées, couchées à plat dans la gelée fondamentale. Ces lames ne sont bien visibles que sur des coupes verticales qui ne sont pas trop minces. Quand les coupes ont moins de 8 μ d'épaisseur, elles cessent d'être visibles. Sous une très faible épaisseur, par conséquent, leur coloration plus pâle et leur différence de réfringence par rapport à la gelée fondamentale ne suffisent pas à souligner leur présence dans cette matière. Les grains de pollen échappent de même complètement sur les coupes horizontales, quelle qu'en soit l'épaisseur. J'insiste sur ce fait parce qu'il montre quelles difficultés spéciales le paléontologiste rencontre dans l'analyse optique des schistes organiques. Si des organites aussi différenciés que ces grains de pollen nous échappent avec cette facilité sur la plupart des bonnes préparations, qu'est-ce donc quand nous descendons à des organismes de très petite taille, comme des bactéries, ou à des êtres dont la membrane est moins différenciée que l'enveloppe cellulosique des grains de pollen ?

Les grains de pollen sont complètement affaissés, les deux faces de la cellule étant rapprochées au contact et agglutinées si intimement que la cavité cellulaire du grain est rarement visible. Elle s'aperçoit quelquefois comme un trait horizontal fin. Il est encore plus rare de voir autour du trait médian une légère teinte brune marquant la présence d'une intine mince. Il s'agit d'un pollen à exine épaisse dont les éléments sont vides de protoplasme. Le contour de ces grains est toujours complètement fermé. Il n'y a pas de déchirures. L'exine est ici à l'état de corps jaune d'or très clair. Ces corps jaunes d'origine cellulosique diffèrent des corps jaunes d'origine gélosique par leur réfringence plus voisine de celle de la gelée

fondamentale. Je n'ai pas eu la chance, comme dans le pollen de Ceara, de rencontrer quelques grains de pollen partiellement injectés de bulles gazeuses de manière à rendre visibles les ornementations de la paroi vue de face. Les grains de pollen m'ont paru simples, tous de même espèce, mais je ne puis dire de quelle plante ils proviennent. J'ai trouvé pour ces grains de pollen les dimensions suivantes :

Longueur . . .	60 μ.	Maximum	75 μ.
Largeur. . . .	30 μ.	Minimum	25 μ.
Épaisseur . . .	2 à 4 μ.		

Ces dimensions sont données d'après les coupes verticales. Il s'agit d'un pollen à grosses cellules.

La fréquence des grains de pollen dans le schiste du Bois d'Asson, estimée d'après les coupes transversales et radiales, est donnée par les nombres suivants :

Nombre des rangs de grains de pollen sur 1^{mm} de hauteur.	24
Nombre des grains de pollen sur 1^{mm} de longueur. . . .	8
Nombre des grains de pollen par m.m.3. de schiste . . .	1536
Coefficient vertical du pollen	0,020
Coefficient horizontal du pollen (calculé au maximum) (1) .	0,050
Coefficient en volume du pollen (calculé au maximum) . .	0,007

Ce coefficient 0.007 est certainement beaucoup trop élevé, et d'après les comparaisons que j'ai pu faire avec les schistes organiques dont le coefficient a pû être mesuré plus exactement, j'estime que le coefficient en volume est seulement de 0,002 à 0,003.

β. — *Les spores.* — Je n'ai pas vu de spores de Cryptogames

(1) Dans cet exemple le coefficient horizontal ne peut être obtenu directement par les méthodes ordinaires puisque les grains de pollen ne sont pas visibles dans les sections horizontales. J'ai donc dû me placer dans l'hypothèse d'un cas de fréquence maxima pratiquement irréalisable de manière à obtenir une limite supérieure de l'intervention du pollen. J'ai admis que l'unité de surface horizontale rencontrait toujours la moitié du nombre possible des grains de pollen indiqués par le produit 8 × 8 et j'ai donné à chacun de ces grains la surface de 60 μ × 30 μ. C'est ainsi que j'ai trouvé 0,050.

vasculaires ni de Muscinées dans le schiste du Bois d'Asson. Je n'ai pas vu non plus de spores de Mucédinées comme celles qu'on rencontre dans le charbon humique de Ceara.

Je laisse dans l'apport éolien, non sans quelques réserves, les spores non humifiées de quelques Champignons que j'ai rencontrées dans le schiste tertiaire.

Une première catégorie de spores est formée par des corps ellipsoïdes allongés, cloisonnés transversalement, que j'ai représentés fig. 51, Pl. II. Ils mesurent : longueur 24 μ, diamètre transversal 8 μ. La spore est partagée en quatre segments par trois cloisons transverses. Les deux cloisons extrêmes étant souvent un peu plus rapprochées de la cloison médiane que des pointes, ces corps sont réduits à une paroi rigide, lisse, brune, qui a condensé le bitume. L'épaisseur de cette paroi est de 1 μ 2. Ces spores sans trous étaient vides de protoplasme, ce qui me fait admettre leur macération. Ces spores sont rares. On ne peut guère les reconnaître sur les coupes verticales. Leur structure est très visible sur les coupes horizontales. Je vois dans ces corps des spores d'Ascomycètes, le terme Ascomycètes désignant pour moi une classe dans laquelle rentrent presque tous les Lichens.

Une seconde sorte de spores ellipsoïdes ressemble beaucoup aux précédentes, par leurs dimensions qui sont : Longueur 24 μ. Diamètre transversal 10 μ. Épaisseur de la paroi 1 μ 2. Cette paroi est rigide, lisse, brune, imprégnée de bitume, mais la spore n'est pas cloisonnée transversalement. Ces spores sont également vides de protoplasme, leur paroi ne montre cependant aucune trace de perforation. — Ces spores sont un peu plus fréquentes que les spores cloisonnées.

J'ai rencontré quelquefois une troisième sorte de spores plus petites que les deux précédentes. Elles sont aussi ellipsoïdes. Ces petites spores mesuraient : longueur, 12 μ; diamètre, 3 à 4 μ. Elles ne sont pas cloisonnées. Elles ont un trou (fig. 49, Pl. II).

C. — LES MENUS DÉBRIS VÉGÉTAUX HUMIFIÉS.

Les menues parcelles végétales déjà humifiées, lors de leur enfouissement dans la gelée fondamentale, sont extrêmement rares dans le schiste du Bois d'Asson. Cette rareté est telle, qu'elle forme un des caractères de ce schiste. Je n'ai pu rapporter avec certitude à cette catégorie de corps accidentels, que quelques petits morceaux de paroi sclérifiés ou lignifiés et un petit lambeau épidermique, avec stomates du type liliacéen disposés en files. Ces objets sont brun-noir très foncé. Ils avaient déjà dépassé le degré d'humification où la lame végétale condense fortement le bitume. Ils ne sont pas encore à l'état de fusain.

Devrait-on rapporter à ces corps végétaux humifiés avant leur enfouissement, les trois sortes de spores décrites ci-dessus ? Leurs parois fortement colorées en rouge-brun ont condensé le bitume, comme c'est le cas des corps humifiés. Mais, d'autre part, certaines membranes végétales comme le mycélium des Mucédinées et les parois de leurs spores localisent aussi régulièrement le bitume sans humification préalable, je laisserai ces spores rouge-brun avec les poussières non humifiées dues à l'apport éolien.

Je laisse parmi les corps végétaux humifiés enfouis dans la gelée fondamentale, mais non sans hésitation, un fragment mycélien et des corps desmidiformes.

J'ai représenté le fragment mycélien (fig. 47, Pl. VI). Il consiste en deux gros hyphes formés de cellules placées bout à bout. D'un côté ils paraissaient tenir à un tronc commun très abîmé. De l'autre ils étaient libres et brusquement coupés. Les éléments cellulaires inégaux mesurent environ 15-12 μ de long sur 7 μ de largeur. La paroi est mince, lisse, rouge-brun, imbibée de bitume. L'épaisseur des cloisons latérales est de 1 à 2 μ. Les cloisons transversales sont plus minces. L'aspect de ces hyphes et leur agencement ressemblent bien plus à l'agencement

des parties d'une Chætophorée qu'à l'état mucédinéen d'un Ascomycète. La paroi gélosique d'une Chætophorée aurait donné à mon avis une lame jaune d'or analogue aux corps jaunes donnés par le Botryococcites ; j'écarte donc l'attribution de ces filaments à cette catégorie d'algues et je laisserai ces filaments avec doute près des filaments mycéliens. Je n'ai rencontré que deux exemplaires de cette sorte de débris.

Sous le nom de corps desmidiformes je désigne des corps rouge-brun à double profil (fig. 58 A et B, Pl. II). Vus par le sommet ce sont des disques elliptiques mesurant 24 à 36 μ de long sur 16 à 20 μ de large. De profil ces corps montrent un léger étranglement entre deux demi-ellipses à la façon des *Cosmarium*. L'une des moitiés est plus petite que l'autre. La paroi rouge-brun, très mince, est imprégnée de bitume. Le contour et la surface sont parfaitement lisses. Il n'y a aucun indice de protoplasme intérieur ni de perforation de la paroi. Ces corps desmidiformes sont assez fréquents. On en trouve 1 à 2 exemplaires par centimètre carré de section horizontale. Quand ils se présentent de face on les confond parfois avec les spores non cloisonnées. Quand ils se présentent de trois quarts par la tranche, on dirait un groupement de quatre spores fuselées. — J'écarte l'attribution de ces corps aux Desmidiées, par la même raison que j'ai écarté l'attribution du mycélium aux Chætophorées. Je ne puis indiquer cependant une autre attribution justifiable. Ces corps me paraissent pourtant de nature végétale.

D. — LES DIATOMÉES.

Le schiste du Bois d'Asson contient de nombreuses Diatomées, qui appartiennent à des genres variés (fig. 53 à 67, Pl. VI). La plupart sont des Diatomées libres. — Il y a quelques Diatomées en chaînettes. Je n'ai pas vu de Diatomées pédonculées. J'avais recherché tout spécialement cette dernière catégorie de

Diatomées, dans l'espoir d'obtenir une indication précise sur le mode de fossilisation, qui aurait frappé la substance gélosique des pédoncules. — Ce sont les formes minuscules qui prédominent. Ces très petites formes sont difficiles à observer dans la gelée fondamentale.

Les Diatomées en chaînettes ont leurs cellules placées sur la tranche, par suite de leur arrangement en hyphe ; les carapaces des autres Diatomées sont toutes couchées à plat, sur une des faces supérieure ou inférieure. Elles ont leurs deux valves régulièrement emboîtées. Elles sont vides de protoplasme, affaissées et brisées par le retrait qui a amené en contact leurs faces opposées. La délimitation de la carapace siliceuse est très nette, comme si celle-ci avait déjà complètement perdu son substratum organique au moment de l'enfouissement. Je ne crois pas cependant que cette disparition du substratum organique de la paroi ait été totale. Les valves affaissées et rompues ne sont pas brisées comme une lamelle minérale, qui casse nettement lorsqu'on a dépassé sa limite de résistance. L'attitude est celle d'une lame molle, qui a fléchi peu à peu et dont l'incrustation se brise lorsque la flexion est devenue trop forte. Il y a une différence d'aspect très nette entre les ruptures produites par la taille dans ces valves et les cassures dues à leur effondrement sous l'action du retrait de la gelée.

L'incrustation siliceuse des Diatomées du schiste du Bois d'Asson est d'une extrême minceur. Il n'y a d'exception que pour les valves du grand Orthosira (fig. 53 à 55, Pl. VI). Comme les ornementations sont parfaitement intactes, on ne peut invoquer ici un amincissement de ces valves par dissolution partielle, mais cette minceur explique le peu de résistance que la plupart d'entre elles ont opposé au retrait (1). L'intérieur des

(1) Les valves de Diatomées sont altérées et partiellement dissoutes au voisinage immédiat de la dalle qui forme le toit.

Diatomées qui ne sont pas effondrées est rempli par une gelée jaune pâle sans bactérioïdes ou très pauvre en bactérioïdes. Ce n'est guère que dans la cavité plus volumineuse des gros Orthosira qu'on voit quelques micrococcoïdes et parfois un bacilloïde. La partie la plus fluide de la gelée fondamentale a rempli les Diatomées en filtrant à travers leur paroi sans entraîner les corps dont elle était chargée. Le bitume pur n'emplit pas ces Diatomées et ne les englobe pas directement. Il a seulement pénétré dans quelques-unes des plus grosses par diffusion.

Ces Diatomées sont extrêmement nombreuses, la gelée fondamentale en est surchargée dans toutes ses parties. Elles sont orientées en tous sens dans le plan. Elles sont mêlées indistinctement avec les autres corps accidentels. Les plus petites espèces ont seules été entraînées dans l'exsudat de remplissage des déchirures horizontales.

La structure de ces Diatomées n'est bien visible que sur les coupes horizontales. Elles échappent presque complètement sur les coupes verticales à cause de leur minceur et de leur affaissement. Il faut une recherche toute particulière, sur des coupes d'une finesse extrême, pour en constater la présence avec certitude. Les coupes verticales ne permettent pas de se faire une idée exacte du nombre prodigieux des Diatomées qui chargent la gelée fondamentale. On ne voit guère que les disques du grand Orthosira, coupés axialement. Pour faire la détermination des espèces, on devra isoler et dégager de sa gangue organique cette florule diatomique. En faisant cette opération, il faudra tenir compte d'une difficulté. La plupart des Diatomées étant brisées par le retrait, leurs carapaces s'effondreront lorsqu'on aura détruit le substratum organique qui les maintient. Il faudra donc opérer cette destruction doucement et par dissolution, et éviter ensuite le plus possible le déplacement des carapaces dégagées. Je n'ai pu jusqu'ici conduire à bien cette opération et réunir un matériel suffisant, pour le

soumettre à un spécialiste; j'ai dû me borner, dans un premier aperçu, à comparer les espèces les plus fréquentes et les plus facilement visibles sur les coupes du schiste du Bois d'Asson à nos Diatomées actuelles. Aucune identification spécifique n'est possible entre les espèces tertiaires et nos espèces actuelles ; toutefois les espèces actuelles qui se rapprochent le plus des espèces tertiaires sont :

Orthosira arenaria, *Odontidium mutabile*,
Melosira varians, *Cymbella Ehremberghii*,
Epithemia turgida, *Cocconema parvum*,
Himanthidium pectinale,

Ces espèces sont toutes des formes d'eau douce. J'estime qu'il y a là une première indication sur la nature des eaux génératrices du schiste du Bois d'Asson. Cette indication directe s'accorde d'ailleurs avec ce que l'on sait des terrains qui contiennent cette couche. — Bien que très légères, aucune de ces Diatomées n'a la forme franchement effilée des algues pélagiques. Je crois donc qu'il s'agit d'une formation dans une eau peu profonde (1).

E. — LES SPICULES DE SPONGIAIRES.

Le schiste du Bois d'Asson contient de nombreux spicules de spongiaires qui sont très visibles sur les coupes verticales et sur les coupes horizontales. Ces organites sont bien plus faciles à voir que les Diatomées; ce sont eux qui frappent tout d'abord quand on examine les coupes. J'ai relevé cinq sortes de spicules, savoir :

(1) Entre le grand Orthosira du schiste du Bois d'Asson et notre *Orthosira arenaria* il y a des différences d'ornementation des valves et des bords qui ne permettent pas d'identifier les deux espèces. La plante tertiaire représente une autre forme spécifique du genre Orthosira L'identité générique est certaine. notre *O. arenaria* est la forme actuelle qui se rapproche le plus de la Diatomée fossile. — Ce grand Orthosira tertiaire a des valves très robustes qui n'ont pas été brisées avec l'action du retrait.

Des spicules en navette à canal axial étroit, σ (fig. 68, Pl. VI);
Des spicules en navette à canal axial large, σ ν (fig. 68, Pl. VI);
Des spicules haltériformes (fig. 69 A et B, Pl. VI);
Des spicules longs à surface hérissée de pointes saillantes;
Des spicules sphérulaires à coque mince, σσ (fig. 68, Pl. VI).

Les spicules en navette sont de grands spicules légèrement arqués, pointus aux deux bouts, avec une coque épaisse et un canal axial étroit. La surface de ces spicules ne présente pas d'épines, elle est souvent comme légèrement rugueuse ou corrodée. Ces spicules sont relativement lourds. On les voit couchés à plat, orientés en tous sens dans le plan, avec une majorité d'éléments placés parallèlement aux grandes fractures longitudinales du schiste. Il en résulte que les coupes verticales transverses montrent la grande majorité des spicules coupés transversalement. Ces spicules sont isolés ou réunis par petits groupes. Le canal de ces spicules est rempli par la gelée jaune pâle que j'ai signalée dans la cavité des disques d'Orthosira. Comme celle-ci la gelée jaune des spicules est presque toujours dépourvue de bactérioïdes, le bitume y a pénétré quelquefois par diffusion (1). Je n'ai jamais vu le bitume entourer directement ces spicules. Les spicules lourds sont très abondants. La blancheur de leur paroi, leur canal central et leur grande taille, en moyenne 450 $\mu \times 25$ μ, les rendent très visibles (fig. 68, Pl. IV). Ils correspondent aux spicules en navette du parenchyme général de la *Spongilla fluviatilis*. La manière dont ces spicules sont posés montre qu'ils ont été soutenus par la gelée fondamentale. Celle-ci les arrêtait dans leur chute.

Les spicules en navette à coque mince ont la même forme que les précédents. Par suite de la minceur de leur coque le canal est extrêmement large et le spicule est léger. Ces spicules

(1) Je dis que le bitume a pénétré en ces points par diffusion et non par injection parce qu'il s'y présente beaucoup moins coloré que dans les gouttelettes et dans les lames bitumineuses.

sont lisses, leur surface n'est pas corrodée. Leur cavité est comblée par de la gelée jaune clair. Ces spicules sont rares. Peut-être ne sont-ils qu'une forme des spicules lourds.

Les spicules haltériformes (fig. 69, Pl. VI), présentent un corps central à canal étroit terminé à ses deux extrémités par une sorte de petit fuseau légèrement arqué. Il n'y a ni verrue ni pointes sur le corps médian ni sur les fuseaux transverses. Il s'agit là de spicules comme ceux qui sont localisés au pourtour des grands canaux de la *Spongilla fluviatilis*. Les spicules haltériformes de l'éponge tertiaire étant beaucoup plus simples que ceux de notre éponge d'eau douce, les spicules haltériformes de la Spongilla sont beaucoup moins nombreux que ses spicules en navette. De même les spicules haltériformes sont beaucoup moins nombreux que les spicules de la première catégorie. Ce sont aussi des spicules lourds que la gelée fondamentale a retenus en suspension.

Je n'ai rencontré que deux fragments de spicules longs à canal étroit, à paroi épaisse couverte extérieurement de forts tubercules coniques. Je n'ai pas vu les extrémités de ces spicules. Il y a là l'indication de spicules particulièrement denses. Ces fragments ont été observés sur des coupes horizontales.

Les spicules sphérulaires sont très nombreux (fig. 68, Pl. VI), leur taille est très variable, les plus petits exemplaires deviennent difficilement visibles. Ils sont uniformément répartis à travers toute la masse. Les plus petits d'entre eux, d'une légèreté extrême, ont été entraînés dans la gelée de remplissage des déchirures horizontales avec les Diatomées légères. Ces spicules sphérulaires ont une forme sphérique, une paroi très mince, fragile, lisse. Ils sont remplis de gelée jaune claire. Le bitume y a souvent pénétré par diffusion. Le bitume ne les enveloppe jamais directement. Un grand nombre de ces spicules sphérulaires sont effondrés.

F. — LES LAMES CHITINEUSES.

Je suis obligé de laisser parmi les débris animaux des membranes organiques portant une série d'impressions ou d'ornementations cellulaires que je ne reconnais pas attribuables à des débris végétaux. Les unes sont des membranes rouge-brun ajourées, les autres sont des membranes noires fusinifiées avec impressions cellulaires à contours régulièrement ondulés.

Sur deux coupes horizontales j'ai rencontré de grands lambeaux rouge-brun ajourés, tels que celui que j'ai représenté (fig. 70, Pl. VI) (1). On s'est demandé de suite s'il s'agissait de corps analogues aux membranes végétales ajourées de Tovarkovo. Il n'en est rien. Ces membranes tertiaires présentent des trous rectangulaires régulièrement alignés, mesurant en moyenne 18 μ de long, sur 14 μ de large. Entre ces trous, la largeur de la membrane est d'environ 6 à 8 μ. Ces parties de la membrane sont homogènes, anhystes, fortement colorées en rouge-brun. Elles ont condensé du bitume. Je ne puis assigner aucune attribution à ces débris. Ils ne sont certainement pas d'origine végétale.

La seconde catégorie de membranes consiste en lames très noires, presque fusinifiées. Elles montrent sous forme de lignes transparentes de fines ondulations parallèles. Deux lignes contiguës étant réunies par des barres transversales transparentes, rectilignes, on dirait un épiderme à très petites cellules, mais je ne reconnais pas là un épiderme végétal. Ces objets sont très altérés. Ils ont fortement localisé la pyrite, tellement que leur structure est parfois difficile à voir et qu'on peut être tenté d'y voir un simple groupement microcristallin. Ces lambeaux sont assez nombreux, mais généralement très petits. J'ai trouvé un lambeau plus grand enroulé et plié. En coupe hori-

(1) On trouve encore ces lames dans la dalle du toit de la couche.

zontale, les cellules paraissent avoir été détachées de la lame cuticulaire. Sur quelques coupes verticales, il m'a semblé parfois qu'il y avait un cadre cellulaire fusinifié et brisé sous la lame cuticulaire. Ces objets ne sont certainement pas des débris végétaux, elles me laissent l'impression qu'il s'agit là de lamelles chitineuses minces, comme en présentent les téguments des Insectes.

G. — LES FRAGMENTS RÉSINEUX.

Le schiste du Bois d'Asson contient une catégorie de corps jaunes, que je regarde comme des fragments résineux. Ce sont des masses irrégulières de dimensions très variables. En section horizontale, ce sont de petites plages jaunes de cadmium à bords irréguliers. En coupe verticale ce sont des corps étroits, couchés à plat à bords nets, contenant parfois quelques bulles, mais pas de canalicules. Je n'ai pas trouvé d'organisation dans ces corps. Le bord de la masse adhère à la gelée fondamentale. Ils n'ont pas agi comme corps durs par rapport à la gelée entourante. Ces corps sont massifs; ils tranchent sur le fond par leur coloration et par leur aspect. Bien que peu nombreux, aucune section n'en est complètement dépourvue. Il y en a en moyenne deux exemplaires par centimètre carré de section. Je ne puis voir dans ces corps des thalles altérés comme les thalles résinoïdes du Kerosene shale. Ces corps m'ont paru inorganisés. Le contour fragmentaire qu'affectent parfois leur bord et leurs bulles m'ont déterminé à les rapporter à des fragments résineux. Ils ont été entraînés au fond par les flocons de gelée fondamentale qui y ont adhéré.

H. — LES FLEURS D'EAU.

Dans le schiste du Bois d'Asson les fleurs d'eau sont représentées par les thalles d'une algue gélatineuse libre et flottante,

le *Botryococcites Largæ*. Ces thalles sont assez nombreux. On en compte 224 par millimètre cube. On trouve à peu près quatorze rangées de thalles dans un millimètre de hauteur et quatre thalles sur un millimètre de longueur horizontale. J'ai trouvé comme coefficient vertical de l'intervention du Botryococcites dans le schiste 0.025, le coefficient horizontal étant 0.029. Les Botryococcites forment ainsi les 0.004 du volume total du schiste. L'intervention des Botryococcites dans le volume du schiste est assez faible pour que leur matière gélosique ne puisse modifier sensiblement les caractéristiques de la roche; cependant le nombre déjà élevé des thalles comme celui des grains de pollen nous permet de comprendre comment on passe d'un charbon humique tel que le schiste du Bois d'Asson à des charbons d'algues ou à des charbons de pollen.

Je décrirai dans les notes complémentaires les caractères spéciaux du *Botryococcites Largæ*. Il s'agit encore d'une petite algue à cellules rayonnées, groupées en un thalle ellipsoïde, Chaque cellule pourvue d'une paroi propre épaisse est isolée de ses voisines par une couche de gelée. Ces caractères suffisent à indiquer un genre nouveau.

Les thalles sont uniformément répartis dans toute la hauteur de la couche. Ils sont isolés, couchés à plat, très affaissés. Leur gélose est à l'état de corps jaune très pâle conservée comme dans les bogheads et présentant la même localisation d'hydrocarbures éclairants. La gélose des thalles est nettement plus réfringente que la gelée fondamentale. Elle tranche toujours sur celle-ci et elle s'en distingue facilement même sur les coupes les plus minces. Les protoplastes petits ne sont pas ou ne sont que très faiblement colorés. Ils se détachent donc très mal de la gélose entourante. Malgré la difficulté qui en résulte pour la lecture de la structure des thalles, l'impression est que ces corps sont parfaitement conservés et qu'ils ont été fixés.

Les thalles reposent sur des gouttelettes ou sur des lames bitumineuses, ou bien ils les touchent accidentellement, mais ils ne sont jamais complètement entourés par cette matière ou altérés par elle.

Les bactérioïdes se rencontrent parfois dans la gélose des Botryococcites.

Les thalles altérés sont rares.

§ V. — *L'intervention bitumineuse.*

La masse organique du schiste du Bois d'Asson a été soumise à une imprégnation bitumineuse hâtive.

De ce fait, et pour une part beaucoup moindre de la diffusion qui s'est produite consécutivement, il y a eu enrichissement de cette masse en matières hydrocarbonées. En ne tenant compte que du bitume individualisé en gouttelettes et en masses fluidales aplaties, j'ai calculé qu'il y a 420 de ces corps dans un millimètre cube. J'ai relevé quatorze rangées de gouttes ou de masses fluidales dans 1 millimètre de hauteur et cinq à six de ces masses sur 1 millimètre de longueur horizontale. J'ai trouvé comme coefficient vertical de ces masses bitumineuses 0.088, comme coefficient horizontal 0.170, ce qui donne comme coefficient en volume 0.036. Le bitume forme donc dans cet exemple une partie très appréciable du volume total du schiste, et par là le schiste du Bois d'Asson mérite de former une section à part dans les charbons humiques.

Le bitume y est particulièrement bien individualisé, ce qui tient à la rapidité avec laquelle il s'est figé. Il est uniformément réparti dans toute la hauteur de la couche.

Ce bitume est relativement dur, de même que celui du Brown Oilshale. Lors de la taille, il résiste aux chauffages qu'on fait subir à la roche pour coller les lames minces sur les lames de verre. Il est donc beaucoup moins fusible que le

soufre des argiles de Billabaux *et que le bitume tardif qui emplit les fissures d'autres roches de la même région.* Ce bitume ou schiste du Bois d'Asson n'est pas non plus soluble dans les dissolvants ordinaires de l'asphalte. Il est peu coloré, peu condensé. Il se solidifiait rapidement, car des masses voisines ne sont pas soudées l'une à l'autre (fig, 39, Pl. VI), et certaines gouttelettes ont eu leurs bulles réinjectées par un bitume plus clair ou plus foncé. Ce dernier caractère nous indique qu'il y a eu de légères variations du bitume dans le cours de sa pénétration.

Le bitume avait pénétré dans la masse, il y était même déjà solidifié quand les fissures horizontales se sont produites. Le bitume n'a pas coulé dans ces fentes. Il n'y est représenté que par de menues écailles brisées, à angles vifs, entraînées avec les Diatomées légères et les petits spicules sphérulaires par l'exsudat qui a comblé les fissures horizontales. La pénétration bitumineuse était donc déjà terminée et la matière s'était solidifiée. L'absence de coulée bitumineuse dans l'exsudat qui a comblé les fentes horizontales écarte toute pénétration tardive de cette matière. Puisque postérieurement à sa pénétration du bitume et à sa solidification la gelée fondamentale a pu se déchirer et abandonner un exsudat qui entraînait les corps légers vers ces déchirures, c'est que la gelée fondamentale était encore loin d'être complètement solidifiée quand le phénomène des déchirures s'est produit. Le bitume a donc pénétré dans la gelée bien antérieurement à sa solidification.

D'autre part les gouttelettes et les masses bitumineuses n'englobent jamais directement les corps accidentels qui chargent la gelée fondamentale. Les Orthosira, les spicules lourds, les thalles qui sont tout particulièrement bien visibles, ne sont jamais enfermés dans des masses bitumineuses. Des gouttes de bitume très voisines qui se touchent ne sont pas fusionnées. Je ne puis donc admettre que les gouttes de bitume soient arri-

vées sur le fond ou dans les flocons de gelée humique en précipitation en même temps que ces corps accidentels; je suis obligé d'admettre par suite que l'intervention du bitume est postérieure au dépôt des corps accidentels et à leur rétention en suspension par la gelée fondamentale. La pénétration du bitume se trouve comprise ainsi entre deux limites très rapprochées. La répartition uniforme du bitume exige d'ailleurs que le phénomène soit un pour toute la couche. Comme on ne voit nulle part de corps organiques en décomposition subissant la transformation bitumineuse, on est forcé d'admettre encore que le bitume est arrivé tout formé du dehors.

Le bitume est dépourvu de corps bactérioïdes. Il est très souvent accompagné de pyrite en petits cristaux cubiques ou dodécaédriques.

Le bitume se présente sous quatre formes principales :

a. En gouttelettes. Gouttelettes pleines, gouttelettes à petites bulles, gouttelettes à grosses bulles, en sphères creuses à parois minces (fig. 40, Pl. III).

b. En masses aplaties à contours amaébiformes à structure fluidale, ces masses étant sans bulles ou avec bulles (fig. 41, Pl. III, fig. 38, Pl. VI).

c. En cylindres courts et en filaments. Ces cylindres sont pleins ou bullaires ou encore à l'état de tubes creux où le bitume forme des perles ou des trabécules. On passe ainsi à des filaments étirés comme ceux que forme une gomme se coagulant dans de l'alcool fort ou comme les filaments d'une cire à cacheter très fusible qu'on étire (fig. 46, Pl. V, fig. 39, Pl. VI, fig. 44, Pl. III).

d. En lamelles infiniment minces.

Tous ces corps bitumineux sont rouge-brun, à contour arrondi non fragmentaire, contrairement aux parois végétales bitumineuses. La matière est assez transparente pour qu'on puisse reconnaître sa structure fluidale, les bulles et les

cristaux de pyrite qu'elle peut contenir. Sa transparence est à peu près celle de l'*Albertite*.

En section horizontale les gouttelettes se présentent comme des corps arrondis (fig. 40, Pl. III). En section verticale ce sont des disques très plats (fig. 37 et 38, Pl. VI). Des gouttelettes grasses figeables flottant à la surface d'un liquide nous donnent une bonne image de l'aspect de ces corps. Ou bien la goutte est pleine, ou bien il y a de très fines bulles qui rendent son centre réticulaire et sa périphérie membraneuse, ou bien encore il y a de grosses bulles plates. Dans le premier et dans le troisième cas on reconnaît nettement une masse fluide solidifiée et affaissée. Dans le second cas on peut quelquefois, mais rarement, penser à un organisme structuré mais contracté, dont la structure nous échapperait par le fait de sa contraction. Une étude très attentive de ces corps montre qu'ils n'ont qu'une structure fluidale. Je laisse près de ces gouttelettes des sphérules aplaties à parois minces rouge-brun que je ne puis rapporter à des spores végétales ou à des organismes animaux. On dirait des bulles de bitume solidifiées et affaissées à l'état de disque, la cavité de la bulle ayant été remplie par un liquide qui a disparu peu à peu pendant la solidification et l'affaissement des sphérules.

Les masses irrégulières à structure fluidale sont beaucoup plus nombreuses. En section horizontale ce sont des lames inégalement épaisses à contour sinueux irrégulier. En coupe verticale ce sont des amas affaissés qui se prolongent souvent par des lames minces. Elles peuvent avoir l'épaisseur d'un thalle dans leur partie moyenne (fig. 38, Pl. VI). Exceptionnellement elles forment de longues bandes plus épaisses qui coupent la préparation horizontalement (fig. 32, Pl. V). Ce sont donc des corps aplatis très étalés. Parfois la masse est homogène. Plus souvent on y voit des bulles grêles ou des bulles plus grosses régulièrement arrangées. Autour de quelques-unes

de ces bulles, j'ai vu le bitume condensé formant une paroi propre d'où, pour l'ensemble, l'aspect d'un sac rempli de grosses spores discoïdes (fig. 45, Pl. V). Dans d'autres j'ai constaté un remplissage des bulles par un bitume plus foncé. On voit fréquemment plusieurs lames de bitume placées côte à côte, se touchant même, dont la teinte est très différente, ce qui nous indique des pénétrations successives de la matière bitumineuse au même point. L'état le plus général est qu'il y a des bulles nombreuses irrégulières, aplaties, localisées dans la région moyenne de la plaque. La masse présente même parfois des canalicules correspondant à des bulles étirées (fig. 42 et 43, Pl. III). On dirait un liquide très visqueux, très épais, comme le vernis noir employé pour luter les préparations d'Anatomie végétale, qui s'affaisse, se coagule et dont les bulles sont étirées pendant qu'il se solidifie. Sur quelques coupes verticales j'ai eu parfois l'illusion d'un parenchyme végétal humifié, affaissé et imbibé de bitume. Rien sur les sections horizontales n'est venu montrer ces fragments parenchymateux qui devraient être reconnaissables sur toutes les coupes. Je n'ai observé sur les coupes horizontales que des plaques à structure fluidale, se prolongeant souvent en lames minces ou par des pédoncules.

Les corps que j'ai nommés en forme de cylindre (fig. 44, Pl. III, fig. 46, Pl. V), sont des sortes de lames rectangulaires plus ou moins minces, de taille variable, à bords toujours bien nettement limités. Les uns sont pleins, les autres contiennent de petites bulles, d'autres ont encore de grosses bulles aplaties par affaissement (fig. 39, Pl. VI). La forme la plus curieuse est celle de cylindres creux à bouts arrondis, aplatis par affaissement et dont la surface interne est couverte de perles concrétées ou de trabécules qui traversent le tube (fig. 46, Pl. V). J'ai dû comparer tout spécialement la structure de quelques-uns de ces corps à celles de cellules palissadiques dissociées ayant subi l'imprégnation bitumineuse.

Le schiste jurassique d'Espite présente en effet des éléments de cette sorte. Après une étude très attentive des éléments figurés je dois dire qu'il ne m'est pas possible de les assimiler aux tubes bitumineux du schiste du Bois d'Asson. Lorsque les cylindres bitumineux s'effilent, ils peuvent se montrer sous la forme de filaments grêles, pleins, plus ou moins longs.

Les lames minces consistent en pellicules irrégulières, de forme très variable, étendues horizontalement. Il y en a de toutes les tailles. Elles sont tantôt isolées, tantôt directement reliées à des masses affaissées qui vont s'amincissant. Ces pellicules sont extrêmement minces, o µ 2 à o µ 5. Elles sont réparties à travers toute la masse dont la stratification est ainsi soulignée. On peut se faire une idée assez exacte de la configuration de ces pellicules en voyant les minces lames qu'un corps butyreux en train de se figer forme aux dépens des fines gouttelettes qui flottent à la surface d'un liquide aqueux. Aucune de ces pellicules ne présente d'organisation, j'y vois l'indication d'une matière fluide se figeant en lames minces. Fait très remarquable, ces minces lames ne s'étendent pas à travers l'exsudat des fissures horizontales. Ce sont des menus fragments de ces lames qui ont fourni les petits fragments anguleux que j'ai signalés mêlés aux Diatomées légères.

Le retrait du bitume a été plus grand que celui de la gelée fondamentale. Le fait est surtout sensible près des gros amas de bitume. En ces points, la matière rouge-brun est partiellement décollée de la gelée humique, ou elle n'y est reliée que par de minces lames, et on voit de gros cristaux tardifs, entre la masse principale du bitume et la cavité de la loge qui le contient.

Les très petits fragments de feuilles que j'ai rencontrés ont localisé le bitume assez fortement; ils présentent de même une contraction plus forte que la gelée voisine.

Je n'ai pas vu d'exsudat jaune d'or dans les parties fissurées des grosses masses bitumineuses.

Avant de conclure comme je l'ai fait et de rapporter tous ces corps bruns à des manifestations diverses de la pénétration bitumineuse, j'ai dû examiner les interprétations qui se présentent à l'esprit, quant à la nature de ces corps. Bien qu'il me soit facile de répondre de suite, qu'on trouve des faits analogues à ceux que je viens de décrire dans le toit de Kerosene shale d'Hartley, comme on voit très souvent le bitume retenu par condensation dans un substratum qui le fixe, j'ai examiné quels pourraient être ici les divers substratums où une telle condensation aurait pu s'exercer. — J'ai dû écarter d'abord les menus débris végétaux moyennement humifiés, donnés par les parois cellulaires des plantes supérieures; on ne voit ici qu'une structure fluidale et non une structure cellulaire. J'ai écarté les débris de Spongiaires pourris, parce que les spicules ne sont jamais enfermés dans ces masses rouge-brun. — J'ai de même rejeté l'attribution à de petits coprolithes. On ne trouve dans ces corps ni granulations, ni écailles, ni fragments osseux, ni fragments de parois végétales. Ils n'ont pas non plus la constance de formes qu'implique cette attribution. L'assimilation de ces corps à des coprolithes n'est donc établie par aucun fait. Elle ne rend pas compte des diverses formes de corps rouge-brun décrites ci-dessus. J'ai rejeté aussi l'attribution de ces masses rouge-brun à des thalles altérés de Botryococcites. Je n'ai vu aucune transition entre ces masses rouge-brun et les thalles des Botryococcites; cette troisième hypothèse n'est donc pas justifiée. Enfin, n'était-il pas possible qu'on fût en présence d'un corps gras figeable qui se serait enfoui en même temps que les corps accidentels de la gelée fondamentale? Ce corps gras aurait localisé et retenu un bitume tardif pénétrant par diffusion générale à travers toute la masse, comme celui du Brown Oilshale. J'ai montré que l'absence de bitume en gouttes ou en injections dans la gelée de remplissage des fentes horizontales excluait la pénétration d'un bitume tardif. D'autre part, qu'il

s'agisse de gouttes de bitume ou de gouttes de matière grasse flottantes au moment de l'arrivée des spicules, des Diatomées et des thalles, ces corps y seraient parfois englobés, ce qui n'est jamais le cas; l'hypothèse d'un corps gras localisant le bitume complique encore le processus de formation. Je sais bien que des algues pélagiques, comme Botryococcus, qui flottent par l'huile qu'elles contiennent, peuvent abandonner cette matière en gouttelettes, mais alors les thalles qui sont imprégnés de cette matière grasse devraient être colorés par le bitume, ce qui n'est pas le cas. Je crois donc qu'en l'absence d'indices établissant l'intervention directe de corps gras, il faut s'en tenir à la conclusion que j'ai formulée, à savoir qu'il y a eu une pénétration du bitume dans la masse organique peu de temps après sa formation et que le bitume figeable était déjà solidifié quand la gelée fondamentale s'est déchirée horizontalement. Le bitume est d'ailleurs arrivé tout formé.

§ VI. — *Les matières minérales ou tardives.*

J'ai signalé la localisation très accusée de matière minérale tardive qui s'est faite dans l'exsudat de remplissage des fentes horizontales. La matière minérale s'individualise en petits cristaux aciculaires. Ceux-ci sont orientés circulairement autour de l'axe de colonnettes verticales. Entre les nicols croisés ces plages s'illuminent brillamment.

Les autres minéraux tardifs sont généralement en cristaux isolés, les principaux sont la glauconie, la calcite et la pyrite.

La glauconie est relativement abondante. Elle se présente sous forme de cristaux verts piquant de distance en distance la gelée fondamentale. Je ne les ai pas rencontrés hors de cette gelée, je ne l'ai pas vue dans les exsudats des fentes horizontales.

Les gros cristaux de calcite sont rares, isolés ou agglomérés. Ils sont isolés dans la gelée fondamentale et agglomérés dans les grands retraits des plus grosses masses bitumineuses. La calcite est abondante et en micro-cristaux dans la matière minéralisante des exsudats. Elle forme de grandes plages cristallines dans les grandes fissures tardives.

La pyrite est très abondante. Elle se présente en petits cristaux cubiques ou dodécaédriques isolés. Ils sont uniformément répartis à travers toute la masse. Elle existe aussi bien dans la gelée fondamentale que dans les exsudats. J'ai vu quelques amas de pyrite localisés contre les lames chitineuses fusinifiées, et on en voit souvent des amas dans les masses bitumineuses. En ces deux points il y a manifestement localisation de la pyrite.

Je n'ai pas retrouvé dans le schiste bitumineux du Bois d'Asson les sphérules jaunes d'or et les masses concrétées tardives que j'ai signalées dans le Brown Oishale.

§ VII. — *Conditions géogéniques de la formation du schiste du Bois d'Asson.*

1. — L'absence de parcelles clastiques indique encore une eau génératrice parfaitement tranquille.

2. — De même la gelée brune humique formant la matière principale du dépôt, il s'agit d'une eau brune laissant précipiter sa matière humique. Celle-ci, extrêmement diluée, était à un état de condensation humique peu accusé, mais qui était le même en tous les points de la nappe liquide.

3. — L'eau génératrice a reçu d'abondantes pluies de soufre, les fleurs d'eaux s'y développaient abondamment.

4. — L'eau génératrice recevait un apport considérable de

Diatomées encore entières et de nombreux spicules de Spongiaires. Ces derniers étaient déjà complètement libres.

5. — Cette eau a reçu aussi quelques parcelles résineuses, des lames chitineuses provenant d'insectes et de rares fragments de feuilles.

6. — En se déposant, peut-être même déjà en se précipitant autour des parcelles flottantes, la matière humique fondamentale a fait prise. Plus diluée que dans le cas du Brown Oilshale, la consistance de cette gelée a été faible, d'où une structure stratifiée et très légèrement réticulée. La consistance de cette gelée était suffisante pourtant pour tenir en suspension les spicules lourds. C'est sur cette matière qu'a agi l'imprégnation bitumineuse. Postérieurement à la solidification du bitume, la gelée fondamentale s'est déchirée horizontalement sous l'action du retrait. Les fissures ainsi produites ont été comblées par une gelée très claire exsudée de la masse et chargée des particules les plus légères, petites Diatomées, petits spicules sphérulaires, corps bactérioïdes, petites écailles bitumineuses à angles vifs.

7. — L'argile ne s'est pas individualisée en cristaux tardifs.

8. — Il s'est produit une localisation élective de matière minérale tardive dans l'exsudat des fentes horizontales.

9. — La gelée brune a été soumise de bonne heure à la fossilisation en présence du bitume. Celui-ci est arrivé tout formé. Il s'est figé dans la masse avant que celle-ci fût complètement solidifiée. Il a été retenu mécaniquement. Son intervention en volume atteint 3 à 4 centièmes. La diffusion de ce bitume dans la masse a été faible. Elle a suffi pourtant à assurer la transformation du pollen, des thalles et des masses résineuses en corps jaunes.

10. — Le retrait de la gelée a été faible, 4,37 en volume. Il a été plus grand que celui des corps accidentels qu'elle contient, sauf celui des masses bitumineuses. Un retrait tardif

postérieur à la solidification complète a ouvert les fentes horizontales et a déterminé quelques fissures verticales.

11. — Il s'agit d'une formation rapide qui s'est déposée sur un fond sans végétation. Le phénomène s'est répété plusieurs fois dans la même localité.

Ces conditions géogéniques ressemblent étonnamment dans leurs traits principaux aux conditions de la formation du Brown Oilshale. Le processus de formation des charbons humiques se retrouve à l'époque oligocène tel que nous l'avons reconnu aux temps primaires.

§ VIII. — *Caractéristiques du schiste du Bois d'Asson*

1. — Malgré son faciès schisteux, la roche oligocène exploitée dans la galerie de la gorge du Bois d'Asson doit être regardée comme un charbon parce que la matière organique y prédomine optiquement sur la matière minérale et qu'elle donne à cette roche ses principales caractéristiques.

2. — Le schiste du Bois d'Asson est de la gelée brune, humique, solidifiée et fossilisée en présence du bitume. Celui-ci a été retenu mécaniquement à l'état de gouttelettes figées qui forment les 0,036 du volume total de la roche. La gelée humique reste donc la matière nettement prédominante. La roche est un charbon humique, mais sa charge en bitume libre donne à ce charbon humique quelques caractères spéciaux qui en font une variété intéressante de cette classe de charbon.

3. — La gelée fondamentale a une structure uniforme dans toute sa hauteur, stratifiée et très légèrement réticulée. Elle était parvenue au même degré de condensation humique dans toutes ses parties. Cette condensation était d'ailleurs faible et plus proche de l'état des bandes jaunes du Brown Oilshale

que de l'état de ses parties les plus rousses. La coloration de cette gelée est très faible.

4. — Cette gelée fondamentale a fait prise, mais elle était alors très diluée. Elle a donc présenté une légère tendance à se séparer en un coagulum réticulé et une partie plus fluide. Plus tard, après la coagulation du bitume qui l'a pénétrée, la gelée déjà consistante s'est déchirée horizontalement. Ces fissures se sont comblées par un exsudat, sorte de gelée plus claire qui faisait encore prise. Dans ces exsudats ont été entraînés les corps les plus légers qui chargent la gelée primitive, petites Diatomées, petits spicules sphérulaires, corps bactérioïdes minuscules, écailles de bitume cassées à angles vifs.

5. — L'intervention du bitume sur la gelée fondamentale s'est produite dans ce schiste entre les premiers phénomènes de prise de la gelée et ses déchirures horizontales. Le bitume était figé quand ces déchirures se sont produites.

6. — La prise hâtive de la gelée fondamentale est établie par les spicules lourds tenus en suspension. Les déchirures horizontales tardives sont établies par les rapports de l'exsudat avec la gelée initiale entourante et par les différences des structures de cette gelée initiale et de la gelée de remplissage. La date de ces fentes par rapport à l'imprégnation bitumineuse est donnée par l'absence de gouttes bitumineuses dans la gelée de remplissage.

7. — La contraction verticale de la gelée fondamentale est de 2, sa contraction transverse est de 1.53, sa contraction radiale 1.43, c'est une contraction en volume de 4.35. Les grains de pollen et les thalles de Botryococcites agissent comme des corps durs par rapport à cette gelée. Ils sont moins contractés qu'elle. Les grosses gouttes de bitume se rétractaient plus que la gelée fondamentale.

8. — La réfringence de cette gelée est un peu inférieure à celle des corps jaunes donnés par les thalles de Botryococcites.

Elle est presque égale à celle des corps jaunes donnés par les grains de pollen.

9. — La charge de la gelée fondamentale en bactérioïdes est très faible, eu égard à ce qu'elle est dans les autres charbons. Les macrococcoïdes sont relativement nombreux et bullaires, ils mesurent de 0 μ 7 à 1 μ 2. Les bacilloïdes sont aussi bullaires et souvent dressés. Leur taille est de 3 à 4 μ sur 0 μ 5 à 0 μ 7. Les micrococcoïdes sont extrêmement petits, non couplés en diplocoques. Les macrococcoïdes sont fréquemment liés à des bulles irrégulières. Ces corps bactérioïdes ne sont pas posés à plat, mais flottants. Cette attitude est particulièrement nette dans la gelée claire qui a comblé les fissures horizontales. — La charge de la gelée en bactérioïdes est ici particulièrement forte, eu égard à la faible quantité de menus débris végétaux humifiés que contient la couche.

10. — La matière argileuse n'est pas individualisée en cristaux isolés dans la gelée fondamentale, sa localisation ne peut donc être appréciée. D'après l'aspect uniforme de la gelée, cette répartition doit y être uniforme.

11. — La localisation du bitume diffusé par la gelée fondamentale est très faible.

12. — Les corps jaunes du schiste du Bois d'Asson proviennent de la fossilisation, dans la gelée humique, en présence du bitume, d'un petit nombre de corps. Les uns sont de nature cellulosique, comme les grains de pollen; d'autres sont de nature gélosique, comme les thalles du *Botryococcites Largæ*. Quelques-uns, très peu nombreux, sont de nature résineuse. La gelée fondamentale, bien qu'elle fût à un état de condensation humique faible, n'a pas fourni son contingent de corps jaunes comme celle du Brown Oilshale, elle était ici beaucoup plus diluée. Les corps jaunes du schiste du Bois d'Asson y sont conservés comme les corps analogues dans les bogheads. L'état de conservation des thalles de *Botryococcites* semble

indiquer qu'il s'y est produit des phénomènes de fixation.

13. — Les corps accidentels enfouis au moment de la formation de la masse organique sont très variés dans ce schiste. Les pluies de soufre sont représentées par de nombreux grains de pollen et par quelques spores de Champignons. Les fleurs d'eau sont indiquées par de nombreux thalles de *Botryococcites Largæ*. Les menus débris végétaux humifiés sont extrêmement rares. Il y a quelques lambeaux chitineux et quelques parcelles résineuses. Par contre on trouve un nombre prodigieux de Diatomées d'eau douce et de nombreux spicules de spongiaires, spicules en fuseau, spicules en haltère, spicules sphérulaires. A part les grands disques d'Orthosira, les carapaces des Diatomées sont d'une extrême minceur. Les grains de pollen, au nombre de 1536 par millimètre cube, forment au plus 0.003 du volume total de la roche. Les thalles, au nombre de 224 par millimètre cube, forment 0.004 de ce volume. Le rôle de ces corps dans la roche est dix fois moins grand que celui des gouttelettes bitumineuses. Le schiste du Bois d'Asson ne mérite donc pas l'appellation de Boghead, qui implique un charbon d'algues. Il ne mérite pas non plus l'appellation de charbon de pollen. La multiplicité des algues et du pollen nous permet de comprendre comment on passe des charbons humiques aux bogheads et aux charbons de pollen.

14. — La grande quantité de Diatomées qui se trouve dans le schiste du Bois d'Asson et ses nombreux spicules constituent une ressemblance entre cette roche et le schiste de Menat. C'est un charbon humique à Diatomées, avec de nombreux spicules.

15. — Les fossiles caractéristiques du Bois d'Asson sont ses grains de pollen, les thalles des *Botryococcites Largæ*, les spores cloisonnées d'Ascomycètes, sa florule de Diatomées d'eau douce et en particulier ses grands Orthosira, ses spicules en navette, en haltère et sphérulaires.

16. — Ce schiste ne contient ni coprolithes, ni carapaces d'Ostracodes, ni traces d'une végétation de fond. — Il ne contient aucune parcelle clastique.

17. — La masse organique a subi un enrichissement par addition de gouttelettes bitumineuses. Celles-ci ne se sont point produites sur place. Elles sont arrivées toutes formées. Elles ont été retenues mécaniquement par la gelée fondamentale, dans laquelle elles se sont figées. La pénétration du bitume s'est opérée peu après le début de la prise de la gelée, alors que cette matière entourait déjà les corps qui y sont englobés. Le bitume était déjà figé et solidifié quand les déchirures horizontales de la gelée fondamentale se sont produites. Le bitume est resté individualisé en gouttelettes et en amas affaissés dans la masse organique. Sa diffusion dans la masse entourante a été très limitée. Il s'agit d'un bitume rouge-brun, peu foncé, facilement figeable. Cette matière intervient pour 0.036 dans le volume du schiste.

18. — Les matières minérales tardives se sont localisées en microcristaux dans les masses de gelée de remplissage des déchirures horizontales. La glauconie en gros cristaux est localisée dans la masse de la gelée initiale. La calcite en grands cristaux est à la fois dans la gelée fondamentale, dans les grosses masses bitumineuses et dans les fentes tardivement ouvertes. — La pyrite est répartie en petits cristaux à travers toute la masse, avec tendance à se localiser près de quelques lames chitineuses et dans les gouttes bitumineuses. La charge totale de ce schiste en matière minérale est de 62.79 pour cent.

19. — Le schiste du Bois d'Asson est un charbon humique, très chargé de Diatomées et de spicules de Spongiaires, ayant retenu mécaniquement 0.032 de son volume de bitume. Il nous apprend que le mode de formation des charbons humiques se retrouve à l'époque oligocène, avec les caractères essentiels que j'avais relevés dans le Brown Oilshale de Broxburn.

CHAPITRE III

LE SCHISTE BITUMINEUX OU CHARBON HUMIQUE DE CEARA

SOMMAIRE :

§ I. — Ce qu'est le schiste bitumineux ou charbon humique de Ceara. — Origine de l'échantillon étudié. — Sa composition chimique.

§ II — Caractères macroscopiques du charbon de Ceara d'après de petits fragments de la roche et d'après des coupes minces vues par transparence.

§ III. — Description de la gelée fondamentale.

a. — Aspect de la gelée fondamentale contractée et solidifiée, ses caractères particuliers.

b. — La contraction de la gelée fondamentale. — Ses coupures. — L'écrasement des coquilles. — Les fentes horizontales à bitume. — Les fissures tardives de la masse solidifiée.

c. — La rétention du bitume par la gelée fondamentale.

d. — La rétention de la matière minérale par la gelée fondamentale.

§ IV. — Les corps accidentels du charbon de Ceara.

a. — Les diverses catégories de corps accidentels rencontrées dans le charbon de Ceara.

b. — Les grains de pollen.

c. — Les spores.

d. — Les fleurs d'eau.

e. — Les menus débris humifiés.

f. — Les restes de Mucédinées.

g. — Les coquilles d'Ostracodes.

§ V. — L'imprégnation bitumineuse.

§ VI. — Les matières minérales tardives.

§ VII. — Les conditions géogéniques de la formation du charbon de Ceara.

§ VIII. — Les caractéristiques du schiste bitumineux ou charbon humique de Ceara.

§ 1. — *Ce qu'est le schiste bitumineux ou charbon humique de Ceara. — Origine de l'échantillon étudié. — Sa composition chimique.*

Le schiste bitumineux de Ceara offre pour mon sujet un intérêt tout spécial. Son faciès macroscopique est celui d'un charbon; des spécialistes s'y trompent et le prennent pour un boghead. C'est en effet une roche noire, tenace, à cassure lustrée, finement stratifiée. Ce charbon n'est pourtant pas un boghead, il ne contient pas d'algues. Les corps jaunes y sont d'une extrême rareté, par conséquent les hydrocarbures éclairants n'y sont pas retenus localisés par la matière gélosique comme dans le cas des charbons d'algues. La roche de Ceara est d'une tout autre nature; c'est encore de la gelée brune solidifiée et fossilisée en présence du bitume. Nous avons là un charbon humique comme le Brown Oilshale et comme le schiste du Bois d'Asson. C'est cette gelée qui retient le bitume, mais comme ici la localisation de matière minérale par la gelée brune primitive ne s'est pas exercée, la roche a conservé son faciès typique de charbon. Dans le charbon de Ceara la charge en matières minérales est relativement faible. L'analyse accuse 40,65 pour cent, mais sur ce nombre près de 22,40 de carbonate de calcium est ramassé dans des oolithes tardives. Il n'y a donc que 18,25 pour cent de matières minérales réellement incorporées dans la masse du charbon. Ainsi, quand dans une accumulation de gelée humique soumise à l'imprégnation bitumineuse la charge en matières minérales reste faible, la roche présente normalement les caractères macroscopiques d'un charbon. Cette remarque est la justification expérimentale de l'extension que je donne au terme *Charbon*. « *Un charbon* » *est une roche produite par une accumulation de matières* » *organiques dans laquelle celles-ci jouent optiquement le*

» *rôle principal et donnent à la roche ses caractéristiques* » *essentielles.* » La roche de Ceara est bien un charbon parce que la matière organique y prédomine optiquement sur la matière minérale et sur le bitume. Ces schistes bitumineux à faciès de charbon sont d'ailleurs moins rares qu'on le croit. On en voit des exemples dans les schistes bitumineux houillers de Commentry et de Saint-Eloy.

Le charbon de Ceara forme une section à part dans le groupe des schistes bitumineux. La gelée formatrice n'est plus ici de la gelée humique pure comme celle du schiste du Bois d'Asson. Certains indices dénotent qu'elle a déjà reçu une addition de matières d'origine animale. La capacité rétentrice de la gelée fondamentale pour le bitume en a subi une légère modification qui va nous préparer à comprendre les charbons de purins.

Je n'ai pu étudier qu'un seul échantillon du charbon de Ceara. Il m'a été remis avec deux préparations par mon excellent ami M. B. Renault. M. Renault avait reçu ce spécimen de M. l'Ingénieur Bayle, Directeur de la Compagnie Lyonnaise d'Autun. L'échantillon provenait de la région de Ceara, province située au nord du Brésil, entre 40° et 43° de longitude ouest. D'après M. le Dr Orville Derby, Directeur de la Commission d'exploration du Brésil, on a reconnu dans cette région des schistes crétacés. Ce sont les seules indications de gisement que je possède sur cette roche. La description sommaire que je vais en donner appellera sur elle l'attention des géologues qui exploreront la région en leur montrant le grand intérêt scientifique qu'elle présente.

D'après une analyse faite par M. le professeur A. Buisine, le schiste bitumineux de Ceara a la composition suivante :

Eau	1.43		1.43
Matières organiques	58.12		58.12
Portion soluble dans l'acide chlorhydrique	34.20	Silice soluble	0.57
		Alumine	4.86
		Carbonate de chaux	22.40
		Autres matières	6.37
Portion insoluble dans l'acide chlorhydrique	6.25		6.25
	100.00		100.00

J'ai déjà signalé que la plus grande partie du carbonate de chaux est localisé dans des oolithes tardives. Une petite partie seulement est à l'état de coquilles d'Ostracodes ou incorporée à la gelée fondamentale.

§ II. — *Caractères macroscopiques du charbon de Ceara d'après l'échantillon en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence.*

N'ayant observé qu'un échantillon de petites dimensions, je suis naturellement exposé à omettre dans la description des caractères macroscopiques de la roche de Ceara, des particularités très frappantes de la roche vue en grandes masses et vue en couches. Cette description n'est qu'une première indication qui devra être complétée. Je ne puis par exemple apprécier que très imparfaitement la direction dominante des fractures verticales. Je ne sais pas quelles sont les variations secondaires de la roche ni quel est son faciès d'altération.

D'après le petit échantillon que j'ai étudié, le charbon de Ceara est une matière noire, brillante, assez légère, très tenace; sa cassure verticale est noire, lustrée, presque vitreuse. Cette cassure montre que la matière est stratifiée en minces lits très visibles. On voit émerger de la masse des oolithes roux clair sphériques de grosseur variable mesurant de $0^{mm}5$ à 3 millimètres de diamètre. La présence de ces oolithes est un carac-

tère secondaire, due à un phénomène tardif. Il fournit cependant un élément de diagnostic très commode pour reconnaître la roche. Sur la tranche verticale, faite à l'émeri, la matière est brun foncé avec quelques filets horizontaux plus noirs (fig. 71, Pl. VII). La stratification est moins visible que sur les cassures fraîches. Cette stratification est soulignée par des fissures horizontales selon lesquelles la matière se fend en feuillets. Sur ces tranches verticales les oolithes sont assez nombreux. On en remarque de très petits mesurant de 1/3 à 1/10 de millimètre alignés suivant les bancs. Ils correspondent à une localisation tardive de la calcite dans les cavités de coquilles d'Ostracodes non effondrées par le retrait. Ces oolithes ont agi comme des corps durs pendant que la masse continuait de se rétracter. Ils font saillie à la surface du banc qui les contient. Sur ces tranches verticales de peu d'étendue on ne remarque pas d'indication d'une stratification disloquée.

Le charbon de Ceara se divise donc horizontalement, c'est-à-dire parallèlement à la surface des lits. La surface ainsi mise à nu est irrégulière, bossuée, avec des boules noires ou blanches, ou bien encore avec des fossettes sphériques, selon la façon dont elle rencontre les oolithes. La matière est noire, luisante, comme vernissée. En coupes horizontales, la matière est brun foncé, presque noire; on y remarque la section de gros oolithes et celles d'oolithes beaucoup plus petits, elliptiques ou ovales, correspondant aux coquilles de Cypris. Toutefois, comme ces petits fossiles ne sont pas nettement dégagés, on a seulement un premier indice de la présence possible d'Ostracodes dans ce charbon.

Vue à la loupe et par transparence, la section verticale du charbon de Ceara est très caractérisée (1). Elle présente une

(1) D'après l'échantillon que j'ai étudié il n'y avait pas lieu de distinguer les sections verticales transverses des sections verticales radiales. La roche offrait la même structure dans les différents azimuts.

matière brun foncé finement stratifiée, parsemée d'oolithes très inégaux, les uns plus gros, parfois associés, les autres très petits de la taille d'un petit Cypris (fig. 72, Pl. VII). Auprès de ces oolithes les lits de la matière organique sont déviés, ils contournent l'oolithe. Ceux-ci agissant comme un corps dur ont provoqué un léger laminage de ces lits. La stratification est soulignée par de nombreux traits blancs qui sont des coquilles d'Ostracodes écrasées par le retrait et de petites lentilles brun-clair qui correspondent à de très petites fentes tardives (D fig. 73, Pl. VII). En quelques points des préparations, on aperçoit de très minces filets horizontaux discontinus beaucoup plus foncés. Ce sont des régions où les menus débris végétaux humifiés sont plus nombreux et où il s'est fait des infiltrations plus importantes de pyrite.

Au grossissement de 30 diamètres, la matière brun foncé paraît très finement stratifiée (fig. 72, Pl. VII). Cette stratification est soulignée par les coquilles écrasées, par quelques menus débris végétaux humifiés, par les fissures à pyrite et par les déchirures horizontales. Dans ces dernières on aperçoit des lames cristallines empilées, qu'il faut se garder de confondre avec un amoncellement de coquilles. Le travail de la taille tend à ouvrir sur ces coupes de nombreuses fissures horizontales. La matière brune est plus foncée au pourtour de ces fissures. On reconnaît de même que partout où elle a été légèrement échauffée, la matière a pris une teinte plus foncée. Elle tend à la fois à se séparer en minces lames horizontales et à plisser toutes celles-ci verticalement. La matière est donc très altérable et il faut chauffer aussi peu que possible les surfaces des sections que l'on veut préparer. Les coquilles d'Ostracodes sont presque toutes couplées, couchées à plat sur le flanc. Il n'y a que quelques exemples de coquilles posées le bord ventral en bas, le bord dorsal en haut. Toute la masse est picotée de gros cristaux blancs, et dans les déchirures tardives il y a une matière bitumineuse brun clair.

Comme la matière fondamentale paraît avoir eu dès l'origine une consistance particulièrement forte, il y avait lieu d'y rechercher des traces de fissures et de glissements analogues à ceux du Brown Oilshale. J'en ai observé sur presque toutes les sections verticales, mais en petit nombre *et en des points très limités* (fig. 72, Pl. VII). Ce sont de très fines fissures, exactement fermées, convergentes, près desquelles on voit les bancs régulièrement stratifiés buter contre d'autres bancs qui ont une inclinaison différente. Il y a donc des images de stratification disloquées correspondant à des fissures de la gelée fondamentale et à des glissements de ses morceaux, mais ces mouvements ont été très peu étendus. Ils ne sont presque jamais appréciables à la loupe sur les tranches verticales que j'ai examinées.

On ne voit pas de gouttelettes rouge-brun dans cette matière, comme c'était le cas pour le schiste du Bois d'Asson.

Examinées à la loupe, les coupes horizontales présentent une matière brun foncé, avec plages sinueuses de teintes très inégales. Au pourtour des oolithes la matière est finement stratifiée concentriquement à ces oolithes. On y observe des sections fines de coquilles d'Ostracodes, des points jaunes ou brun clair qui correspondent, les uns à des coquilles de Cypris, les autres à des déchirures tardives de la gelée.

Au grossissement de 30 diamètres (fig. 84, Pl. VIII), la teinte de la gelée fondamentale est moins sombre. Les plages les plus colorées sont limitées par un contour sinueux et on peut reconnaître des sortes de courbes de niveaux larges plus chargées de pyrite. Sur quelques-unes de ces courbes, d'étroites fissures dirigées concentriquement à la courbe sont pleines de pyrite. Près des oolithes, la matière très finement stratifiée est coupée plus ou moins normalement à sa direction, de là des courbes de niveau concentriques très fines et très serrées. La matière montre dans toutes ses parties des coquilles brisées

par le retrait, sous forme de plages plus claires, limitées par la section de la coquille. D'autres taches brun clair, irrégulières, sont dues à des déchirures tardives (D, fig. 73 et 75, Pl. VII). On y reconnaît les amas de plaques cristallines signalées sur les coupes verticales. On remarque encore des lambeaux brun-noir très altérés provenant de fragments végétaux humifiés et de fragments chitineux. La masse est picotée de points blancs qui correspondent à des cristaux tardifs. — Outre la pyrite localisée le long des fentes, il y a de petits cristaux de pyrite très nombreux, dispersés à travers toute la masse.

§ III. — *Description de la gelée fondamentale.*

A. — ASPECT DE LA GELÉE FONDAMENTALE CONTRACTÉE ET SOLIDIFIÉE. SES CARACTÈRES PARTICULIERS.

Je n'ai observé la gelée fondamentale du charbon de Ceara que contractée et solidifiée. Il n'y avait point de parties silicifiées dans le spécimen que j'ai étudié.

Cette gelée est brun foncé. La matière était à un état d'humification plus condensé que celles du Brown Oilshale et du schiste du Bois d'Asson. Elle était parvenue au même degré de condensation dans toutes ses parties. Il n'y a donc pas ici de zones jaune clair, opposées à des zones rousses, comme dans le schiste écossais. La gelée humique fondamentale n'a pas donné de corps jaune d'or dans la roche de Ceara.

La structure de la gelée fondamentale est uniforme dans toute sa hauteur. Elle ne présente pas trace de réticulation. Cette gelée a donc eu de suite une forte consistance. J'ai reconnu en effet que cette gelée s'est coupée par des fissures obliques comme celles du Brown Oilshale. On y voit quelques exemples de coquilles d'Ostracodes maintenues verticalement le bord dorsal en haut. *Enfin la gelée fondamentale n'a pas*

empli la cavité comprise entre les valves couplées de ces coquilles d'Ostracodes. Tous ces caractères concourent à nous montrer la gelée initiale comme ayant acquis de très bonne heure, au moment de son dépôt, une consistance analogue à celle d'une gelée gélosique à 0,007 ou 0,008.

La présence d'Ostracodes et quelques autres indices que je releverai en étudiant les corps accidentels du schiste brésilien montrent que sa gelée fondamentale n'est plus de la matière humique presque pure comme celle des roches de Broxburn et du Bois d'Asson. A la substance humique ordinaire s'ajoute ici une petite quantité de matière organique d'origine animale. De ce fait la capacité rétentrice de la gelée fondamentale pour le bitume se trouve augmentée. Cette modification des caractères des charbons humiques est la transition qui nous permettra de comprendre les caractères spéciaux des charbons de purins.

La gelée fondamentale du charbon de Ceara est très finement stratifiée (fig. 73, 74, Pl. VII). Ce caractère très accusé dépend ici de la structure de la gelée. En effet, sur des coupes verticales extrêmement minces vues au grossissement de 600, cette gelée m'a paru composée de petits traits bruns horizontaux de 1 μ 5 à 4 μ, sur 0 μ 5 à 0 μ 6, entourés d'une auréole plus claire ; autour était une masse brune uniforme. La masse non ébranlée semblait ainsi formée par un empilement de traits semblables (fig. 86 et 87, Pl. VIII). Les dimensions restaient les mêmes sur deux coupes verticales perpendiculaires entre elles. Est-ce là l'indice d'un amoncellement d'êtres infiniment petits, tels que ceux qui pullulent dans les purins. Je ne sais. Ils se détachent trop peu les uns des autres, pour qu'on puisse affirmer leur individualité. Je n'ai vu cette structure que sur les coupes verticales où la matière a toujours une tendance à se cribler de petites fentes horizontales. Les coupes horizontales ne donnent aucune explication de cette

structure. Bien que très net, cet indice est trop faible pour qu'il me soit permis d'en déduire que la gelée fondamentale représente une masse structurée; mais vu l'extrême difficulté du sujet, j'ai tenu à noter en passant cette particularité. A défaut d'indices probants, je continuerai à regarder ici la matière fondamentale comme un précipité amorphe qui s'est pris en gelée en se stratifiant.

Comme d'habitude, la stratification est encore soulignée par les corps accidentels, par les coquilles couchées à plat, et par les déchirures horizontales.

Enfin, sur les coupes verticales minces légèrement ébranlées, la matière présente une infinité de petites fissures horizontales. En se rejoignant, ces fissures partagent la gelée en filets horizontaux. Quelques lignes plus noires, relativement riches en menus débris humifiés, et quelques fissures horizontales pleines de pyrite accusent encore la stratification de la masse.

La réfringence de la gelée du charbon de Ceara est inférieure à celle des grains de pollen tétracellulaires qu'elle contient. Ceux-ci se voient facilement, *même sur les coupes horizontales*. Les débris végétaux humifiés, complètement effilochés, et les lames chitineuses s'y détachent particulièrement bien. D'après l'état de ces corps, il est permis d'affirmer que la gelée conserve très bien les organites qui y sont plongés et que le milieu présente ici des facilités exceptionnelles pour l'étude des corps accidentels.

Les grains de pollen enfermés dans la gelée fondamentale y sont incomplètement affaissés. Des bulles de gaz occupent souvent la cavité des grains et soulignent leurs ornementations. Les cavités cellulaires de ces corps n'ont pas été comblées par la gelée qui les entoure. Les lambeaux végétaux fortement humifiés et tout effilochés se présentent bien étalés. Ils ont été soutenus par la grande consistance qui s'est opposée à la chute des coquilles. Celles-ci y sont couchées à plat.

Bien qu'il y ait ici quelques fentes horizontales tardives dans la gelée fondamentale, je n'ai rien vu dans ces fentes qui rappelât l'exsudat ou la gelée de remplissage reconnue dans le schiste du Bois d'Asson. Les déchirures se sont produites dans une gelée beaucoup plus consistante (D, fig. 73 et 75, Pl. VII, fig. 81, 82 et 83, Pl. VIII) (1).

Les corps bactériformes contenus dans la gelée du schiste brésilien fournissent aussi quelques caractères. Ils sont peu nombreux, irrégulièrement répartis à travers toute la masse à la manière de nuages peu condensés. Ces bactérioïdes ne sont pas posés comme les autres corps contenus dans la gelée ; ainsi les micrococcoïdes sont flottants, sphériques, non déprimés. Les bacilloïdes sont fréquemment obliques ou même dressés sur les coupes verticales. Il y a donc un contraste profond entre l'attitude des corps bactériformes et celle des traits stratifiés dont l'empilement forme la gelée fondamentale (fig. 87, Pl. VIII).

Ce sont surtout les micrococcoïdes qui dominent. Les micrococcoïdes sont ici très brillants. Leur taille varie beaucoup de 0 μ 2 à 0 μ 8. Lorsqu'ils atteignent 0 μ 6 à 0 μ 8 ils passent aux macrococcoïdes et on reconnaît nettement qu'ils sont bullaires. L'auréole claire qui entoure chaque corpuscule est très accusée, épaisse de 0 μ 2 à 0 μ 3. Les micrococcoïdes enfermés dans les cristaux ne la présentent pas. Les micrococcoïdes sont en général isolés dans la gelée fondamentale. Les micrococcoïdes couplés en diplocoques sont très rares. Par contre on les voit réunis côte à côte en nombre variable de manière à former des disques plans et plus rarement des amas aplatis ou sphérulaires. La taille de ces amas, la configuration de leur contour, le nombre de leurs éléments constituants sont extrê-

(1) C'est un caractère des gelées consistantes de ne point donner d'exsudat. En se solidifiant, une gelée aqueuse de gélose titrant 0,008 se prend en une masse homogène. Au contraire une gelée titrant 0,003 donne un réseau plus solide noyé dans une partie plus molle.

mement variables. Lorsque les micrococcoïdes y sont en très petit nombre, 4 à 12, la distance qui sépare deux de ces éléments est égale à 2 fois leur diamètre. L'ensemble de ces corps rappelle une zooglée de gros microcoques, mais ce n'est là qu'une image toute grossière, et ce qui frappe beaucoup, c'est la variabilité de taille des éléments formateurs de ces disques ou amas zoogléiformes (fig. 87, Pl. VIII). Beaucoup de micrococcoïdes sont placés au centre d'un petit cristal incolore tardif apparu dans la gelée fondamentale. Il y a d'autre part des amas lamellaires de cristaux contenant chacun un micrococcoïde, et plus rarement un seul cristal contenant un amas de micrococcoïdes (fig, 87, Pl. VIII). C'est dans ces amas cristallins qu'on apprécie le plus facilement la variation de taille des corpuscules élémentaires.

La taille des macrococcoïdes varie entre o μ 8 et 1 μ 4. Ces corps sont bullaires. Ils sont peu nombreux et semblent passer à des bulles irrégulières.

Les bacilloïdes sont rares. Leur taille est d'environ o μ 7 à o μ 8 sur 2 μ à 3 μ 2. Ils sont aussi bullaires. J'ai déjà dit que sur les coupes verticales ils sont fréquemment obliques ou redressés.

Les corps bactérioïdes se rencontrent en petit nombre dans la matière qui remplit la cavité des coquilles couplées et des fentes tardives. Ils n'y sont pas uniformément répartis. On les voit localisés par amas près de l'ouverture des coquilles vers la surface des fentes et en quelques points plus ou moins avancés vers l'intérieur. Cette distribution contraste avec celle que j'ai relevée dans l'exsudat de remplissage des fentes horizontales du schiste du Bois d'Asson.

B. — CONTRACTION DE LA GELÉE FONDAMENTALE.

La prise rapide de la gelée fondamentale lors de sa précipitation et de son dépôt a été établie par l'attitude des menus débris végétaux effilochés enfermés dans cette gelée et par les coquilles qui s'y sont couchées horizontalement. D'autre part aussi la gelée fondamentale n'a pas rempli la cavité de coquilles couplées. Cette gelée, consistante comme de la gélose à 0,007 ou 0,008, s'est d'abord contractée massivement comme celle du Brown Oilshale. Au cours de ce retrait, des fissures obliques ont coupé la gelée. Ces fissures sont localisées autour de quelques points où elles viennent converger. De petits déplacements se sont produits, mais tellement faibles en général qu'ils ne sont pas perceptibles, même à la loupe, sur les tranches verticales. Les phénomènes de dislocation, tout en étant ici très nets, sont particulièrement limités. Le retrait général de la masse et la pesanteur relative sont les seules causes agissantes qui soient intervenues dans ces coupures et dans ces déplacements. Je me suis borné à représenter l'un d'eux (fig. 72, Pl. VII).

Plus tard, la masse de la gelée continuant de se contracter, la plupart des coquilles couplées se sont brisées. J'évite de dire ici qu'elles se sont effondrées pour bien marquer que cette rupture ne s'est pas faite sous l'action d'une pression venant d'en haut. Les morceaux des coquilles brisées adhéraient déjà solidement à la gelée. Ils coupent parfois cette gelée au milieu de laquelle ils se dressent sous des inclinaisons variables (fig. 73, Pl. VII). On voit très souvent la gelée coupée nettement s'avancer plus ou moins entre les fragments de la coquille sans jamais combler la cavité qui sépare la valve supérieure de la valve inférieure, et de fait dans leur région moyenne ces deux valves, si rapprochées qu'elles soient, ne se touchent pas (fig 74, Pl. 7). Ce n'est donc pas une pression corres-

pondant à une surcharge venant d'en haut qui a rompu la coquille, mais un retrait général qui a fait chevaucher les fragments les uns sur les autres. Très souvent la bordure ventrale de la coquille et la bordure dorsale sont relevées presque verticalement. Souvent aussi entre ces bords relevés le reste des valves est plissé. Ces faits dénotent une intensité particulière du retrait horizontal pendant cette période. C'est après la rupture des coquilles que les oolithes se sont développées dans celles d'entre elles qui étaient demeurées entières. Les coquilles brisées et affaissées ne présentent pas d'oolithes.

Postérieurement à la formation des oolithes, le retrait continuant, ces nodules ont agi comme des corps durs sur la gelée entourante. La matière légèrement laminée a pris une structure concentrique par rapport à ces oolithes. Nous avons vu cette structure très accusée sur les sections verticales et horizontales. La gelée très ferme n'était cependant pas complètement solidifiée. Des déchirures horizontales s'y sont produites contre les oolithes, près des amas de coquilles, et aussi en pleine gelée (fig. 81 à 83, Pl. VIII). Le retrait vertical plus important dominait pendant cette troisième période. La matière de remplissage de ces fissures est un bitume brun clair dans lequel se sont développés des cristaux lamellaires isolés ou parallèles, très différents de ceux des oolithes. En quelques points cette matière de remplissage présente quelques corps bactérioïdes, mais la masse n'en est jamais complètement criblée. Dans les petites fentes qui sont en pleine gelée, la matière de remplissage peut pâlir beaucoup et devenir presque jaune. C'est le cas, lorsqu'elle est particulièrement chargée de matières minérales. La teinte pâle qui couvre la déchirure contraste alors avec la coloration brun-rougeâtre de la gelée voisine. C'est la même matière de remplissage qui s'observe entre les valves des coquilles rompues. Elle forme une marge interne tout le long du bord ventral des coquilles entières (fig. 80,

Pl. VIII). C'est près des grands oolithes et des groupes oolitiques qu'on trouve les grandes fissures tardives.

Ultérieurement à cette période, le schiste de Ceara s'est contracté comme une masse stratifiée solide. Il s'est ouvert de petites fissures horizontales où la pyrite s'est accumulée massivement. Il n'y a pas de bitume dans ces dernières fentes.

Par rapport aux coquilles entières, dont le retrait n'est pas négligeable, la contraction de la gelée fondamentale a été trouvee de 2.5 sur la verticale et de 1.3 à 1.5 horizontalement. Soit une contraction en volume de 4.87. Ce nombre devrait être multiplié par le coefficient de contraction absolu des coquilles.

Les corps végétaux humifiés et les grains de pollen ne sont pas fendillés par le retrait. Ils ne se sont pas contractés plus fortement que la gelée entourante.

C. — LA RÉTENTION DU BITUME PAR LA GELÉE FONDAMENTALE.

La rétention du bitume par la gelée fondamentale du charbon de Ceara rappelle ce que j'ai signalé chez le Brown Oilshale. Le bitume est intervenu tout formé. On ne le voit prendre naissance en aucun point de la masse. Il ne forme pas de globules rouge-brun individualisés dans cette masse. Le bitume a teinté la gelée par diffusion. Il est uniformément réparti à travers toute la masse. La gelée l'a retenu assez abondamment, d'où, pour elle, une coloration plus foncée qui contraste avec celle du bitume libre qui comble déchirures et coquilles. L'action du bitume sur la gelée fondamentale n'est pas antérieure à la rupture des coquilles. Le bitume était encore fluide lorsque les déchirures horizontales tardives se sont produites puisqu'il les a comblées.

D. — RÉTENTION DE LA MATIÈRE MINÉRALE PAR LA GELÉE FONDAMENTALE.

Je n'ai pas constaté de grands cristaux de matière argileuse dans la gelée fondamentale du charbon de Ceara. Par contre, cette gelée contient une foule de très petits cristaux blancs, tardivement individualisés (ca′ fig. 87, 88, Pl. VIII). Au centre de beaucoup d'entre eux est un micrococcoïde ou une bulle. De petites agglomérations de ces cristaux se présentent de distance en distance, la plupart sont discoïdes. Ces cristaux sont en calcite. L'ensemble de ces microcristaux suit très exactement la stratification. Ces petits cristaux sont assez uniformément répartis dans la gelée. Bien que leur taille soit un peu variable, ils ont à peu près tous la même configuration et leur forme diffère de celle des cristaux des oolithes et de celle des cristaux développés dans les déchirures tardives et dans les coquilles effondrées. Tous ces caractères dénotent une localisation élective de calcite qui s'est produite sur la gelée fondamentale, la matière s'étant individualisée tardivement et de préférence autour des corps bactériformes.

Il s'est produit une autre localisation de la calcite dans la matière de remplissage des coquilles non effondrées. J'ai montré que la matière qui comble la cavité des coquilles était distincte de la gelée fondamentale. Elle ne contient pas les menus débris que présente cette gelée. On voit la gelée pénétrer entre les valves des coquilles ouvertes et y faire hernie en séparant ses lits mais sans emplir la cavité tout entière. Quelques micrococcoïdes seuls paraissent y avoir été entraînés. C'est sur cette matière de remplissage que s'est effectuée la localisation dont il s'agit. La matière disparaissant presque totalement, il s'est produit de grands cristaux de calcite qui, partant de la surface de la coquille, s'avancent vers le plan de symétrie de celle-ci. Ces cristaux convergent vers la partie moyenne de

ce plan de symétrie (fig. 75, Pl. VII, et fig. 80, Pl. VIII). Il est resté en général un espace vide à section lenticulaire le long du bord de la coquille, surtout dans la partie ventrale. Il y a de nombreuses bulles gazeuzes rayonnantes dans ces cristaux et entre eux. Les plus petites ressemblent beaucoup aux bactérioïdes.

Je n'ai pas vu de localisation de la matière minérale en colonnes à structure radiée dans la matière de remplissage des fentes horizontales. Il semble d'ailleurs que le remplissage de celles-ci ait été fait par du bitume exclusivement ; dès lors je renvoie plus loin l'examen des cristaux et des lames cristallines tardives qui y sont localisées. Celles-ci ne dépendent pas des qualités spéciales de la gelée fondamentale.

Peut-être y a-t-il eu aussi une certaine localisation de la pyrite par la gelée fondamentale. Cette matière est uniformément répartie à travers toute la gelée et, fait assez rare, elle n'est pas nettement plus abondante près des amas de bitume. La pyrite est en cristaux cubiques et dodécaédriques de tailles variables ; certains d'entre eux semblent résulter de l'agglomération de cristaux plus petits. La taille de ces petits cristaux descend à 0 μ 2, 0 μ 1 (fig. 89, Pl. VIII). Ces très petits corps peuvent être confondus avec les plus petits micrococcoïdes avec lesquels ils sont mêlés. Toute la masse est ainsi chargée de microgranulations sulfurées.

§ IV. — *Les corps accidentels du charbon de Ceara.*

A. — LES DIVERSES CATÉGORIES DE CORPS ACCIDENTELS RENCONTRÉES DANS LE CHARBON DE CEARA.

Les corps accidentels du charbon de Ceara sont très peu nombreux et peu variés. Ils n'interviennent pas dans la masse d'une façon appréciable et cependant ils fournissent quelques

caractères très précis et très faciles à constater pour le diagnostic de la roche.

Les poussières végétales, amenées par l'apport éolien, sont représentées par quelques grains de pollen et par de très rares spores de Cryptogames vasculaires.

Les fleurs d'eau sont indiquées par une algue rayonnée, libre, qui est tout à fait rarissime dans les préparations (fig. 125, Pl. XI).

Les menus débris humifiés consistent en petits débris végétaux très altérés et en lames chitineuses.

Quelques amas rouge-brun, irréguliers, plus ou moins affaissés que l'on peut prendre pour des coprolithes ou pour de petites masses de bitume individualisées sont des pelotons de spores, ou de spores et d'hyphes mycéliens d'une Mucédinée.

Les plus frappants des corps accidentels sont les coquilles d'Ostracodes.

Ces deux dernières catégories de corps, restes d'une Mucédinée et coquilles d'Ostracodes, fournissent quelques indices sur les propriétés particulières des eaux brunes anthracigènes de Ceara.

Je n'ai trouvé ni Diatomées, ni spicules de Spongiaires, ni coprolithes.

Il n'y a aucune parcelle clastique, pas même une parcelle micacée.

B. — LES GRAINS DE POLLEN.

Les grains de pollen du schiste bitumineux de Ceara donnent un caractère très précis pour le diagnostic de cette roche. Il s'agit en effet d'un pollen à grains composés. Chaque grain est formé de quatre cellules semblables groupées en tétrade comme les éléments polliniques des Bicornes, *Erica*, *Rhododendron*, etc. Il s'agit de grosses cellules à parois un peu épaisses, marquées de cannelures parallèles (fig. 90 à 92, Pl. VIII).

Par suite de l'affaissement, ces cannelures peuvent se recouvrir et se croiser. Ces corps n'offrent pas de lignes de déhiscence. Ils ne sont pas ouverts (fig. 76, Pl. VII). La paroi est jaune d'or avec une zone interne plus rousse qui représente l'intine. A la face externe de la lame jaune, on ne voit pas, comme dans les spores fuselées, de lamelle cutinisée colorée en rouge brun foncé. Ces grains de pollen sont couchés à plat (fig. 100, Pl. VIII), incomplètement affaissés, tellement qu'il est possible de reconnaître la structure multicellulaire de ces corps sur les coupes verticales (fig. 73, Pl. VII). Ces grains de pollen sont vides de protoplasme. Je crois donc qu'il s'agit là d'un pollen macéré. Parfois les cavités de ces grains composés sont pleines de bulles gazeuses effilées qui soulignent les cannelures qui ornent le grain. Ces grains de pollen sont très visibles sur les coupes horizontales. Leurs dimensions moyennes sont : largeur de la tétrade, 100 à 120 μ; épaisseur de la tétrade couchée, 10 à 12 μ.

Il y a environ 80 grains de pollen par millimètre cube. On compte en effet dix rangs de grains sur 1 millimètre de hauteur et 2 à 4 grains sur 1 millimètre de longueur horizontale.

C. — LES SPORES.

Les spores, qui n'avaient pas subi d'humification au moment de leur enfouissement dans la gelée fondamentale, sont conservées à l'état de corps jaunes. Elles sont extrêmement rares. On en rencontre une de loin en loin. La plupart sont des spores fuselées, affaissées sur une face, portant sur leur pourtour cinq à sept crêtes méridiennes. Elles sont vides de protoplasme. Leur paroi est épaisse, jaune d'or, sauf dans sa partie superficielle, où elle était fortement cutinisée. Le bitume s'est localisé dans cette surface qui se détache en rouge brun. Le pourtour immédiat de la cavité cellulaire est aussi très

légèrement teinté de roux. Je n'ai pas vu de ligne de déhiscence sur ces spores fuselées. Je me suis donc demandé si ces organites ne représenteraient pas une sorte de pollen. La grande épaisseur relative des parois m'a paru en désaccord avec cette seconde attribution. En coupe verticale, les spores fuselées se reconnaissent à leurs parois épaisses, ornées de fortes côtes saillantes. Les dimensions des spores fuselées sont : distance des pôles : 60 μ ; diamètre transverse de la spore couchée : 40 μ.

J'ai rencontré, mais très rarement, des spores tétraédriques avec trois fentes convergentes au sommet. Elles mesuraient : longueur du côté, 45 μ; épaisseur de la spore, 15 μ. Ces derniers organites proviennent de Cryptogames vasculaires (fig. 94 et 95, Pl. VIII) (1).

D. LES FLEURS D'EAU

Si les corps jaunes d'origine cellulosique sont rares dans le charbon de Ceara, les corps jaunes d'origine gélosique sont encore plus rares. Ainsi je n'ai observé qu'une seule section verticale d'algue dans une série de coupes dont la surface totale couvre 54 centimètres carrés. Il s'agit donc d'un être tout à fait rarissime dans ce charbon. Ce corps est très bien conservé, ce qui m'a permis de reconnaître la structure d'une algue gélosique libre, à cellules rayonnées. La plante ressemble quelque peu au *Botryococcites Largœ*, la gelée qui sépare les cellules était moins accusée. Cette algue est couchée à plat dans la gelée, sa masse gélosique est à l'état de corps jaune, ce qui nous indique de suite le mode ordinaire de fossilisation de la gélose dans la gelée brune en présence

(1) J'ai rencontré une spore analogue plus grande et plus épaisse (fig. 93, Pl. VIII). Elle représente peut-être une macrospore. — J'ai trouvé aussi deux téleutospores agglutinées (fig. 96, Pl. VIII). Les parois épaisses étaient colorées en rouge-brun.

du bitume. Sur la coupe verticale ou je l'ai rencontré, le thalle de l'algue mesurait : longueur, 46 μ ; épaisseur, 11 μ ; il avait deux rangées de cellules (fig. 126, Pl. XI). N'ayant pu observer les autres caractères de cette algue, je ne lui assignerai pas de désignation générique. Un seul fait me paraît à retenir de cette constatation, c'est l'existence certaine de fleurs d'eau dans la mare anthracigène de Ceara.

E. — LES MENUS DÉBRIS HUMIFIÉS.

Les menus débris humifiés du charbon de Ceara sont très peu abondants. Ce sont surtout des débris végétaux. La plupart sont de petits fragments brun noir, presque fusinifiés, très altérés. Ces corps n'ont retenu que très faiblement le bitume. Parmi eux on voit des morceaux tellement amollis qu'ils étaient brisés ou effilochés. D'autres montrent très nettement leur double système d'hélices d'épaississement. Sur quelques lambeaux provenant de fibres ligneuses, j'ai trouvé une file de ponctuations simples; sur d'autres, une double file de boutonnières étroites. Ces caractères indiquent des Phanérogames angiospermes. Tous ces débris sont complètement étendus bien soutenus par la gelée fondamentale entourante. Dans quelques filets horizontaux, ces débris noirs sont plus abondants. La masse est alors fracturée suivant ces lignes et la pyrite s'y est amassée. Il y a aussi des fragments de parois végétales qui sont à l'état de corps rouge brun. Leur humification moins avancée leur a permis de condenser le bitume. Ces corps rouge brun sont généralement indéterminables comme tissus (1).

Les fragments chitineux sont rares, très petits, fusinifiés et chargés de pyrite.

(1) Sur une coupe verticale très fine, j'ai observé une plaque orangée quadrangulaire avec bulles. Ce corps n'était certainement pas organisé. Peut-être indique-t-il des corps jaunes d'origine résineuse dans le schiste brésilien.

J'ai observé une mince lame brune avec saillies en pointes, régulièrement distribuées, qui ne peut être qu'une cuticule animale.

F. — LES RESTES DE MUCÉDINÉES.

Les coupes verticales du charbon de Ceara montrent des amas rouge brun foncé affaissés, plus ou moins allongés, couchés à plat dans la gelée. Vu leur minceur, il est très difficile de reconnaître leur structure et de décider s'il s'agit de coprolithes de petite taille ou de petites masses bitumineuses comme celles du schiste du Bois d'Asson. L'examen des coupes horizontales permet de résoudre ces amas. Ce sont des débris provenant d'une Mucédinée (fig. 78, Pl. VII, et fig. 97, Pl. VIII).

Ces amas sont des pelotes de spores juxtaposées irrégulièrement, ou bien encore des pelotons de filaments mycéliens et de spores. L'ensemble rappelle ces préparations d'Aspergillus ou de Penicillum que font les débutants en Mycologie. Il est plus rare de rencontrer les fragments mycéliens isolés (fig. 100, Pl. VIII). Les parois du mycélium et celles des spores sont teintées en rouge brun. Elles ont localisé le bitume par élection. Il y a là l'indice d'une cutinisation intense. Le mycélium est grêle, ramifié et cloisonné. Les cellules du mycélium mesurent: longueur, 10 à 12 μ sur 2 à 3 μ de diamètre. Les ramifications sont assez éloignées, égales aux branches-mères ; fréquemment, les branches sont tordues. Les spores sont ellipsoïdes. Certaines montrent un petit pincement qui marque leur région d'attache. Elles mesurent de 4 à 7 μ de long sur 3 à 5 μ de large. Certaines sont ouvertes et affaissées. On est donc là en présence d'une forme conidiale de Champignon. Je ne crois pas utile, sur ces quelques documents, de lui assigner un nom générique. La Mucédinée du schiste de Ceara est une désignation qui suffit à l'indiquer clairement.

Ces pelotons de Mucédinées sont assez uniformément répar-

tis à travers toute la masse. C'est un élément constant de cette formation. Elles fournissent une caractéristique très précise de la roche. Cette caractéristique toutefois n'est facilement lisible que sur les coupes horizontales.

Les Mucédinées actuelles recherchent les liqueurs nutritives riches. Il y a là un indice sur la nature spéciale des eaux brunes de la mare anthracigène de Ceara. Cette eau était suffisamment riche en matières nutritives pour permettre le développement de Mucédinées. Ce n'est plus l'eau brune simple du schiste du Bois d'Asson.

G. — LES COQUILLES D'OSTRACODES.

Il y a de nombreuses coquilles d'un Ostracode voisin des Cypris. Ces coquilles sont bivalves, à section transversale elliptique. Le côté de la charnière est légèrement déprimé. Le bord ventral convexe s'y relie en avant et en arrière sans échancrure ou sinus. La coquille est lisse, sans poils. Le bord ventral présente sur chaque valve un prolongement intérieur très caractéristique qui permettra de définir le genre (fig. 79, Pl. VI). En coupe transversale les deux valves montrent contre la charnière une saillie arrondie (fig. 80, Pl. VIII). Ces deux valves sont en matière calcaire blanche. Elles présentent un léger amincissement vers le bord ventral. Toutes ces coquilles sont semblables; il s'agit donc d'une seule espèce. La taille des coquilles varie de l'une à l'autre, les grandes coquilles étant les moins nombreuses. Les animaux étaient de tout âge, les adultes étant moins fréquents. Je n'ai vu entre les coquilles aucune trace des téguments ni des parties molles des êtres producteurs de ces coquilles. Ce caractère indique des coquilles qui ont flotté après la mort des animaux et après la destruction de leurs corps. Comme d'autre part les valves sont toujours entières et presque toujours couplées, les coquilles n'ont subi qu'un flottage insi-

gnifiant. Les Cypris vivaient dans la mare anthracigène et leurs cadavres venaient flotter à la surface avant de s'enfouir dans la gelée fondamentale. J'ai déjà dit que presque toutes ces coquilles sont couchées sur le flanc, qu'un petit nombre seulement sont placées la charnière en haut. Celles-ci ont leurs valves légèrement écartées du côté du bord ventral. Sur les coquilles couchées les deux valves se touchent le long du bord ventral. La gelée fondamentale n'a pas pénétré entre les bords des coquilles, ou bien elle s'y avance faiblement. Une autre matière, air ou eau, occupait donc la cavité de la coquille et s'opposait à la pénétration de la gelée au moment où la coquille a été englobée par cette gelée ; et la charge du dépôt supérieur n'a pas suffi à injecter complètement la coquille avec la gelée fondamentale. Ces coquilles sont généralement isolées. En quelques points, elles sont groupées en bancs ou en amas. La plupart sont brisées. Dans celles qui sont entières, il s'est formé des oolithes de calcite à cristaux rayonnants. Près des coquilles groupées en amas, il s'est formé, en dehors des coquilles, de gros oolithes simples ou composés. La pyrite s'est souvent localisée sur les valves des coquilles.

La présence d'Ostracodes voisins des Cypris nous apprend qu'il s'agit d'eaux génératrices riches en matières organiques et en particulier en produits d'origine animale. Les mares dont les eaux sont souillées par les trop pleins des fosses à purin sont le milieu favori des Cypris. En été, ils y deviennent si nombreux qu'ils colorent l'eau en rouge sang. Ce résultat, rapproché de la présence des Mucédinées, nous donne la notion d'une gelée humique se déposant dans une eau brune additionnée d'une proportion sensible de matières animales.

§ V. — *L'intervention du bitume.*

La masse organique du charbon de Ceara a été soumise à une imprégnation bitumineuse et de ce fait, elle a subi un enrichissement en matières hydrocarbonées. Il s'agit d'un bitume brun clair, peu condensé. Dans son état actuel, il résiste à la température du montage des coupes minces, c'est-à-dire à la température de fusion du baume de Canada durci.

Ce bitume n'est pas individualisé dans la masse organique. On le voit libre dans les fentes horizontales tardives, entre les valves des coquilles brisées et sur la région marginale des oolithes. Il forme la plus grande partie, sinon la totalité de la matière qui remplit ainsi fissures et coquilles. Le bitume a pénétré la masse de la gelée fondamentale par diffusion. Il s'y est uniformément réparti et cette gelée l'a retenu avec une certaine intensité, plus fortement, par exemple, que ne l'a fait la gelée du Brown Oilshale. Cette rétention plus forte du bitume est due à la fois à un état de condensation humique plus accusé de la gelée brune et à la présence de matières animales dans cette gelée brune.

L'imprégnation bitumineuse a été tardive, postérieure à la formation des oolithes. Les cristaux rayonnés des oolithes ne sont pas les mêmes que ceux des fissures horizontales tardives. Ces deux formes se sont produites dans des milieux différents. Comme d'autre part les cristaux des fentes horizontales se retrouvent entre les valves des coquilles brisées, au centre des grands oolithes, et dans la matière brun clair qui remplit les grandes fentes ; ces cristaux, derniers fournis, se sont développés dans une matière qui imprégnait toute la masse ou du moins qui en comblait toutes les solutions de continuité. Je place ainsi la pénétration du bitume après la formation des

oolithes. Le bitume est peut-être même postérieur aux fentes horizontales puisqu'il les a comblées, ou alors il était encore assez fluide pour s'y amasser lorsqu'elles se sont ouvertes. Le bitume est d'ailleurs antérieur à la solidification de la masse, puisqu'il est fissuré comme elle par les petites fentes à pyrite (D π, fig. 84, Pl. VIII).

Le retrait de ce bitume a été plus considérable que celui de la masse entourante. Ce fait est établi par l'abondant développement de cristaux tardifs qui s'est fait dans la matière brun clair des fentes horizontales et des grandes déchirures voisines des gros oolithes.

L'imprégnation bitumineuse de la roche de Ceara est donc très analogue à celle du Brown Oilshale. Elle est plus intense. Comme la minéralisation de la masse est demeurée faible, c'est la gelée brune fondamentale, imprégnée de bitume dans toutes ses parties, que nous apprend à lire la cassure noire, lustrée, presque vitreuse, des lamelles du charbon de Ceara.

§ VI. — *Les matières minérales tardives*

J'ai relevé l'absence de matières argileuses tardivement individualisées dans la gelée brune du charbon de Ceara. Les matières minérales tardives sont représentées par de la calcite et de la pyrite.

La calcite affecte quatre formes principales :

a) Les menus cristaux imparfaits localisés dans la gelée fondamentale.

b) Les cristaux en aiguille disposés radialement dans les oolithes.

c) Les cristaux isolés ou en lames parallèles des amas bitumineux.

d) Les gros cristaux de la masse.

J'ai indiqué les caractères des deux premières catégories de ces cristaux, leur localisation dans la gelée brune et dans les coquilles brisées, et près des grands amas de coquilles.

Il y a toujours un abondant développement de cristaux dans la matière bitumineuse brun clair des fentes horizontales et des coquilles brisées. Lorsque la lame bitumineuse est mince, la calcite y affecte la forme de cristaux isolés, courts, terminés par deux pointements. Lorsque la lame bitumineuse est plus épaisse, la calcite affecte la forme de lames cristallines parallèles que l'on pourrait confondre avec des lambeaux de coquilles brisées (fig. 81 et 82, Pl. VIII). Ces lames cristallines deviennent très nombreuses dans les grandes déchirures, mais leur parallélisme est moins accusé. Fréquemment aussi la calcite s'est individualisée à la périphérie de la masse brun clair. Celle-ci paraît alors enchâssée dans une ampoule irrégulière et incomplète (fig. 83, Pl. VIII). Au centre de l'ampoule sont de petits cristaux courts, imparfaits. On passe ainsi à des amas de micro-cristaux formant un sable blanc dans la matière bitumineuse. Souvent la matière brun clair devient finement granuleuse comme si elle se chargeait d'un très fin précipité ferrugineux. Cette cristallisation tardive de la calcite pendant le grand retrait de la matière bitumineuse paraît un phénomène d'un tout autre ordre que sa localisation dans les coquilles entières et dans la masse de la gelée.

Après la solidification de la masse il s'est produit une quatrième sorte de cristaux de calcite. Ce sont de gros rhomboèdres répartis à travers toute la masse. Ils n'offrent aucune trace d'imprégnation bitumineuse. Ils sont donc postérieurs à la solidification du bitume. Ces cristaux sont relativement volumineux, à angles vifs. Leur grande diagonale est horizontale.

J'ai exposé les caractères de la pyrite disséminée dans la gelée fondamentale. Elle contraste avec la pyrite des fissures ; c'est pourquoi j'ai indiqué qu'il y avait peut-être là l'indice d'une localisation de la pyrite par la gelée fondamentale.

La pyrite est accumulée en grande quantité le long de certaines fentes tardives. Elle y est en gros cristaux ou en pelotons de petits cristaux.

Il n'y a pas de matière tardive jaune d'or en gouttelettes ou concrétée dans le charbon de Ceara.

§ VII. — *Les conditions géogéniques de la formation du schiste bitumineux ou charbon humique de Ceara.*

1. — Nous retrouvons encore comme premières conditions de la genèse du schiste bitumineux de Ceara des eaux brunes tranquilles laissant précipiter leur matière humique.

2. — La matière humique était parvenue au même degré de condensation dans toutes les parties de la mare. Cet état de condensation était plus accusé que dans les exemples précédents.

3. — Les eaux génératrices recevaient un faible apport de pollen, quelques menus débris humifiés très altérés. La plupart sont des fragments végétaux effilochés ou fortement macérés. Les lames chitineuses sont rares. Les fleurs d'eau ne s'y rencontraient qu'en très petite quantité. Ces corps n'interviennent pas d'une façon appréciable dans la masse de la roche.

4. — Ces eaux ont nourri des Mucédinées et des Ostracodes.

5. — La présence de ces êtres implique des eaux chargées de matières organiques nutritives et en particulier de matières d'origine animale. La gelée brune n'est donc plus ici cette gelée humique presque pure du schiste du Bois d'Asson ou du Brown Oilshale. A cette gelée humique s'est associée une certaine proportion de matières animales. La capacité rétentrice de la gelée brune pour le bitume est ainsi augmentée.

6. — La matière humique précipitée a fait prise en une gelée consistante qui pouvait arrêter la chute des coquilles. Cette gelée relativement concentrée s'est coupée par des fissures obliques

convergentes. De petits glissements locaux s'y sont produits. La gelée continuant de se rétracter, les coquilles ont été brisées. C'est à ce moment que le retrait horizontal a été le plus fort. Plus tard, postérieurement à la formation des oolithes, des fentes horizontales se sont produites. Il ne s'y est pas produit d'exsudat dans l'étendue des coupes que j'ai observées. Ultérieurement, la matière s'est contractée comme une masse solide. La contraction relative de la gelée par rapport aux coquilles est de 4,87 en volume.

7. — La masse organique a été soumise à la fossilisation en présence du bitume. La pénétration de ce bitume a été tardive. La gelée fortement consistante n'était pas encore complètement solide.

8. — La minéralisation a été faible. Elle s'est faite par des eaux calcaires. La calcite s'est localisée successivement dans la gelée fondamentale, dans la matière de remplissage des coquilles entières et dans le bitume ; puis, quand la masse a été solidifiée, à travers toute la masse.

Comme conditions géogéniques nouvelles, nous trouvons donc d'une part une gelée humique additionnée d'une certaine quantité de matières d'origine animale, et d'autre part une faible minéralisation de la masse organique. La première permet à la gelée brune de condenser plus fortement le bitume. La seconde laisse à la roche un faciès de charbon.

§ VIII. — *Les caractéristiques du charbon de Ceara*

1. — Le charbon de Ceara est encore de la gelée brune humique solidifiée et fossilisée en présence d'un bitume. Cette roche est donc un charbon humique.

2. — La gelée brune de la roche brésilienne diffère de celle du schiste du Bois d'Asson et de celle du Brown Oilshale par

une addition de matières organiques d'origine animale. Par ce fait la capacité rétentrice de la gelée pour le bitume s'est trouvée augmentée.

3. — La minéralisation de la roche a été faible. Ses principaux agents sont la calcite et la pyrite. L'analyse accuse 40,65 pour cent de matière minérale dont 22,40 pour cent de carbonate de calcium. La plus grande partie de ce carbonate est individualisée dans les oolithes. Il reste environ 18,25 pour cent de matière minérale incorporée à la masse. La roche est caractérisée comme charbon à la fois microscopiquement et macroscopiquement par suite de la prédominance de la matière organique. La roche de Ceara nous montre l'aspect du charbon produit par une gelée fondamentale imprégnée de bitume. C'est le faciès type des charbons humiques ou schistes bitumineux.

4. — La roche de Ceara ne mérite pas le nom de *boghead* qu'on lui donne parfois dans le commerce. La gélose n'intervient pas dans sa masse. Les organismes gélosiques y sont à l'état de rareté. Ainsi j'ai trouvé un seul thalle dans un ensemble de sections couvrant une surface de 54 centimètres carrés.

5. — La gelée fondamentale a une structure uniforme dans toute sa hauteur. Elle est très finement et très nettement stratifiée. Elle était à un état d'humification assez avancé, le même pour toute la masse. Elle est donc plus colorée que la gelée du schiste du Bois d'Asson. Elle n'a pas les zones orangées du Brown Oilshale. Elle n'a pas donné de corps jaunes dans ce charbon.

6. — En se déposant la matière humique s'est prise en une gelée consistante. Les lambeaux végétaux effilochés y sont bien étalés et largement soutenus. Les coquilles d'Ostracodes ne s'y enfonçaient pas. La gelée n'a pénétré qu'à l'embouchure de ces coquilles. Cette gelée n'est pas réticulée. Consistante comme la gelée du Brown Oilshale, elle s'est coupée par des fentes obliques convergentes et très localisées. De faibles déplacements

se sont produits. Après le glissement, la plupart de ces coupures sont demeurées exactement fermées et ces dislocations ne sont pas perceptibles macroscopiquement sur les petits échantillons. Ils ne sont visibles que sur les coupes minces.

7. — Ultérieurement, le retrait de la gelée a déterminé la rupture des coquilles d'Ostracodes. C'est dans cette période que le retrait horizontal a eu son maximum d'intensité. La partie médiane des valves brisées a été ondulée, les bords ont été redressés ou infléchis. Plus tard encore, postérieurement à la formation des oolithes, de petites déchirures horizontales se sont ouvertes. La matière était déjà suffisamment ferme dans les parties que j'ai étudiées pour ne pas émettre d'exsudat dans ces nouvelles déchirures. Elles ont été comblées par le bitume. Après la consolidation du bitume, la matière du charbon de Ceara, complètement solidifiée, n'a reçu de l'action du retrait que quelques petites fentes horizontales où la pyrite a pénétré massivement. Ces dernières fentes ont ouvert de nouveau quelques coupures primitives, mais la plupart se sont localisées dans les lits les plus chargés en menus débris humifiés.

8. — Par rapport aux coquilles d'Ostracodes demeurées entières, la contraction de la gelée fondamentale a été trouvée de 2,5 sur la verticale et de 1,5 à 1,3 sur le plan horizontal. C'est une contraction relative de 4,87 en volume. En multipliant 4,87 par le coefficient de contraction absolu des coquilles qui est inférieur à 2,5, cette contraction est tout à fait insuffisante pour expliquer l'accumulation de matières hydrocarbonées que l'analyse accuse dans la masse et qui s'élève à 58,12 pour cent. L'enrichissement de la matière humique résultant de la pénétration et de la rétention d'un bitume dans sa masse est donc évident.

9. — Comme dans les gelées plus fortement humifiées, l'opposition de couleur d'une part, et d'autre part une réfrin-

gence plus faible de la gelée mettent particulièrement en évidence les corps jaunes qui y sont enfouis. Le pollen, les spores, les thalles s'y détachent très nettement. Les corps jaunes sont rares dans le charbon de Ceara. Ce sont des grains de pollen composés tétracellulaires comme ceux de Bicornes (*Erica*, *Rhododendron*, etc.), quelques spores fuselées et costulées, des spores tétraédriques et une algue gélatineuse rarissime. Il y a 80 grains de pollen par millimètre cube. Ce pollen tétracellulaire fournit une caractéristique très commode du charbon de Ceara sur les coupes minces.

10. — La charge de la gelée fondamentale en corps bactérioïdes est faible. Elle concorde avec la faible charge de la masse en menus débris végétaux humifiés. Ce sont surtout des micrococcoïdes de taille variable, 0 μ 2 à 0 μ 8, très brillants. Les plus gros sont bullaires et passent aux macrococcoïdes. Les micrococcoïdes sont parfois groupés en amas aplatis ou discoïdes. Souvent les micrococcoïdes sont entourés d'un petit cristal de calcite. Il y a ainsi des amas cristallins zoogléiformes. Les bacilloïdes sont rares, inclinés ou dressés. Les bactérioïdes sont répartis irrégulièrement dans la masse. Ils sont rares et par petites plages à l'entrée des coquilles et dans les fentes horizontales tardives. Ce dernier caractère contraste fortement avec ce que nous a montré la matière de remplissage des fentes horizontales rencontrées dans le schiste du Bois d'Asson.

11. — La gelée fondamentale du charbon de Ceara ne présente pas de matière argileuse individualisée.

12. — Les débris humifiés y sont très peu abondants. La plupart sont de grands lambeaux de parois cellulaires végétales noir brun, très altérées, effilochées. Il y quelques petits lambeaux chitineux et de rares cuticules animales.

13. — Ce charbon contient de petits pelotons aplatis composés de spores et de filaments mycéliens d'une Mucédinée. Ces restes fournissent une caractéristique commode de la roche

de Ceara. Ce caractère n'est facile à lire que sur les coupes horizontales. Sur les coupes verticales, ces corps pourraient être confondus avec des coprolithes ou avec des pelotes de bitume.

14. — Le charbon de Ceara contient de nombreuses coquilles venant d'un Ostracode voisin des Cypris. Les parties chitineuses et les parties molles de l'animal ont disparu. Il s'agit de coquilles flottées. Elles sont réparties à travers toute la masse. Elles sont couchées sur le flanc, très rarement placées de champ avec la charnière en haut. Les valves sont couplées. Les valves isolées sont extrêmement rares. La plupart des coquilles ont été brisées. Les valves opposées sont rapprochées, mais elles ne se touchent pas. Dans les coquilles demeurées entières la calcite s'est localisée en oolithes à structure radiée. Ces oolithes et ces coquilles fournissent un caractère commode pour le diagnostic macroscopique du charbon de Ceara.

15. — La Mucédinée de Ceara indique une eau génératrice chargée de matières nutritives. Les Cypris impliquent une eau chargée de matières animales. Ces êtres prospèrent en été dans les mares dont les eaux sont souillées par le trop plein des fosses à purin. La gelée brune du charbon de Ceara s'est précipitée dans une eau chargée d'une certaine quantité de matières animales.

16. — La masse organique du charbon de Ceara a subi une imprégnation bitumineuse qui l'a enrichie en matières hydrocarbonées. Le bitume est arrivé tout formé. Il a pénétré par diffusion. C'est un bitume brun clair peu condensé. Il a été plus fortement retenu par la gelée fondamentale que dans les schistes précédemment étudiés. L'intervention du bitume a été tardive. On le voit isolé dans les fentes horizontales tardives et entre les valves. Le bitume s'est contracté plus fortement que la gelée fondamentale.

17. — Ce charbon ne contient ni Diatomées, ni spicules, ni parcelles clastiques.

18. — La masse a été minéralisée par de la calcite et par de la pyrite. La calcite s'y présente sous quatre formes principales : 1° En micro-cristaux imparfaits localisés dans la gelée fondamentale ; 2° En cristaux allongés disposés radialement dans les oolithes ; 3° En cristaux lamellaires parallèles ou bien encore en lamelles formant coque au pourtour des amas bitumineux ; 4° En gros cristaux rhombiques. Les deux premières séries correspondent à des localisations électives de la calcite. Les cristaux de la dernière série se sont faits pendant le retrait de la masse solidifiée. La pyrite est uniformément répartie à travers toute la gelée en petits cristaux dodécaédriques et en amas microcristallins. La pyrite a pénétré massivement par les dernières fissures de la masse solidifiée.

19. — La roche de Ceara est un charbon humique dont la gelée fondamentale s'est déposée dans une eau chargée de matières animales. La gelée fondamentale, très légèrement modifiée, a retenu plus fortement le bitume. Les conditions locales n'ayant permis qu'une faible minéralisation par des eaux calcaires, la matière nous présente le faciès type des charbons humiques ou schistes bitumineux. La très légère modification des conditions géogéniques indiquée par la présence de matières animales de l'eau brune génératrice va nous permettre de comprendre maintenant la genèse des charbons de purins.

CHAPITRE IV

LE SCHISTE BITUMINEUX DE L'ALLIER

SOMMAIRE :

§ I. — Ce qu'est le schiste bitumineux de l'Allier. — Il représente un nouveau type de charbon : les charbons de purins. — Origine des échantillons étudiés. — La composition chimique du schiste dans le banc des Têtes-de-Chats.

§ II. — Caractères macroscopiques du schiste des Têtes-de-Chats d'après la roche vue en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence.

§ III. — Description de la gelée fondamentale.

- ***a.*** **— La gelée fondamentale non contractée ou très faiblement contractée d'après l'aspect qu'elle présente dans les parties silicifiées.**
- ***b.*** **— La gelée fondamentale d'après ses parties contractées et solidifiées.**
- ***c*** **— La contraction de la gelée fondamentale.**
- ***d.*** **— La rétention du bitume par la gelée fondamentale.**
- ***e.*** **— La rétention de la matière minérale par la gelée fondamentale.**

§ IV. — Les corps accidentels du schiste des Têtes-de-Chats.

- ***a.*** **— Les diverses catégories de corps accidentels qui se rencontrent dans le schiste des Têtes-de-Chats.**
- ***b.*** **— Les grains de pollen.**
- ***c.*** **— Les spores.**
- ***d.*** **— Les fleurs d'eau.**
- ***e.*** **— Les thalles de Zoogleites elaverensis.**
- ***f.*** **— Les menus débris humifiés.**
- ***g.*** **— Les lamelles micacées.**
- ***h.*** **— Les coprolithes.**
- ***i.*** **— Les os et les écailles isolés.**

§ V. — L'intervention bitumineuse.

§ VI. — Les matières minérales tardives.

§ VII. — Conditions géogéniques de la formation des schistes bitumineux de l'Allier.

§ VIII. — Caractéristiques du schiste bitumineux de l'Allier.

§ I. — *Ce qu'est le schiste bitumineux de l'Allier. Il représente un nouveau type de charbon : les charbons de purins. — Origine des échantillons étudiés. — La composition chimique du schiste dans le banc des Têtes-de-Chats.*

La roche de Ceara nous a fait connaître un charbon humique dont la gelée brune s'est précipitée dans une eau contenant une petite quantité de matières animales. L'existence des matières animales a été établie par la présence des Cypris. La puissance nutritive plus grande de cette eau génératrice a été indiquée comme conséquence de la présence d'une Mucédinée. Dans le schiste bitumineux de l'Allier, la gelée fondamentale, chargée d'une proportion sensible de matières stercoraires provenant de coprolithes éparpillés dans toutes ses parties, a sa capacité de rétention du bitume fortement accrue. Elle se contracte davantage. Il en résulte un nouveau type de charbon. Comme les eaux brunes génératrices de cette nouvelle classe de charbons ressemblent à l'eau rousse de nos purins par leur charge en matières organiques d'origine animale, je les ai désignés sous le nom de *charbons de purins*. Les coprolithes n'étant pas la matière dominante je ne pouvais aller jusqu'à dire *charbons de coprolithes* ou *charbons guanifères*. Chaque fois que l'eau génératrice du schiste de l'Allier se diluait suffisamment les Ostracodes y apparaissaient.

Je prendrai comme type du schiste de l'Allier, la roche du *banc des Têtes-de-Chats* au puits du Méglin. C'est au moment de la formation de ce lit que l'eau génératrice a présenté son maximum de concentration. Tout en conservant les mêmes caractères essentiels dans les autres bancs, le schiste montre une série de petites modifications secondaires qui dénotent une dilution plus grande. La charge en matières minérales s'y accroît

beaucoup. On passe ainsi insensiblement à des schistes organiques à Ostracodes, c'est-à-dire à des roches qui ne diffèrent du charbon de Ceara que par leur charge plus grande en matières minérales.

Le schiste des Têtes-de-Chats est de la gelée brune chargée de matières stercoraires solidifiées et fossilisées en présence du bitume. Cette gelée est fortement chargée de corps accidentels. Les plus importants sont des coprolithes entiers fossilisés en présence du bitume qui ont donné dans la masse de nombreux nodules de charbon coprolithique pur. La gelée fondamentale est aussi très chargée de pollen et de menus débris végétaux humifiés. Elle est fortement déchirée. Dans sa masse et dans ses déchirures la matière minérale s'est abondamment localisée. Dans ce banc des Têtes-de-Chats le schiste bitumineux de l'Allier doit être regardé comme un charbon parce que la matière organique prédomine encore optiquement sur la matière minérale et qu'elle donne à la roche ses caractéristiques essentielles. Toutefois il y a 77,12 pour cent de matières minérales, et dans les régions où ces matières sont encore plus abondantes, ce sont elles qui deviennent facilement l'élément prédominant de la roche. On est donc près de cette limite où la roche cesse d'être un *charbon* pour devenir un *schiste organique* dans lequel la trame organique joue un rôle très important.

Le schiste bitumineux de l'Allier est exploité à Buxière-les-Mines, à St-Hilaire et dans la concession des Plamores, c'est-à-dire de part et d'autre de la petite ligne de chemin de fer qui va de Cosne-sur-l'Œil à Moulins. Ce schiste est permien (1). J'ai pu disposer pour cette partie de mes études de très nombreux et de très beaux échantillons. Les deux premiers spéci-

(1) Fuchs et Launay. — Traité des gîtes minéraux et métallifères, in-8° Paris, 1893. Vol. I, p. 194.

mens que j'ai analysés m'ont été donnés par M. B. Renault. M. A. Duchet, propriétaire des mines de Buxière, et M. l'ingénieur G. Roux, ancien directeur de l'exploitation, ont bien voulu, à ma demande, faire prélever dans le puits du Méglin de grands spécimens donnant les divers bancs du schiste dans toute leur épaisseur. On avait même reporté sur ces spécimens l'orientation de leurs faces. Ce prélèvement d'échantillons et leur repérage avaient été faits avec un soin extrême par le chef mineur de l'exploitation, M. Dumas. De même M. l'ingénieur Castaignier, ancien directeur des mines de Saint-Hilaire, et M. Laurent, chef mineur, m'ont fait parvenir en grands exemplaires toute l'épaisseur du schiste bitumineux rencontré dans les puits Saint-Charles et Saint-François. J'adresse à tous ces Messieurs l'expression de ma vive gratitude. A leurs noms je dois joindre encore celui de M. l'ingénieur Héliot, directeur actuel de Buxière, et celui de M. l'ingénieur Faibie, directeur actuel de Saint-Hilaire, qui ont mis à ma disposition tous les échantillons dont j'avais besoin lors de la visite que j'ai faite aux gisements de l'Allier.

Grâce à ces conditions exceptionnellement favorables, il m'a été possible d'examiner tous les lits de la formation schisteuse de l'Allier. Je résumerai les détails de ces observations dans une monographie spéciale. Il me suffit dans le présent mémoire où je me propose surtout de donner la notion d'un charbon de purin, de prendre les caractéristiques de cette classe de charbons dans le banc où elles sont le plus accusées. Les autres lits me donneront quelques compléments quand il y aura lieu; ainsi les nodules siliceux du haut de la *Grosse Couche* nous montreront la gelée fondamentale non contractée. Le haut de la *Grosse Couche* nous présentera le passage du charbon de purin aux schistes à Ostracodes.

J'ai consigné dans les deux tableaux ci-contre les coupes stratigraphiques des schistes bitumineux de l'Allier.

TABLEAU I

PUITS DU MÉGLIN, BUXIÈRE-LES-MINES

		Partie bitumineuse	Partie stérile	
	Toit.			
1.	Gazon	0.25	....	Schiste organique à Ostracodes et à coprolithes transparents.
		....	0.03	
2.	Taille	0.47	....	Charbon de purin.
3.	Matières	...	0.30	Schiste organique à Ostracodes, *à bacilles coprophiles, à Micrococcus lepidophagus.*
4.	Grès et sables	....	0.03	Non encore étudiée (1).
5.	Banc carré	0.11	....	Charbon de purin.
6.	Feuilletage présentant de distance en distance des lits bitumineux	....	0.65	Schiste gris contenant encore une trame organique.
7.	Matières subdivisées parfois en deux lits	....	0.09	Schiste à Ostracodes.
		....	0.12	
7bis	Caillou	...	0.10	Schiste à Ostracodes.
7ter	Troisième banc subdivisé parfois en trois lits.	...	0.09	Schiste à Ostracodes.
		....	0.10	
		....	0.10	
8.	Têtes-de-Chats	0.15	....	Charbon de purin à *Zoogleites elaverensis.*
9.	Grès gris noirâtre à végétaux	....	0.33	Schiste organique grossier avec débris végétaux en charbon brillant craquelé.
10.	Sous-cave	....	0.10	Schiste gris à trame organique.
11.	Colles	....	0.10	Schiste organique.
12.	Feuilles de la Grosse Couche	0.12	....	Schiste à Ostracodes.
			....	Schiste à Ostracodes.
13.	Grosse Couche	0.60	...	Zone à nodules siliceux.
			....	Charbon de purin.
	Mur.			

PUITS St-CHARLES et PUITS St-FRANÇOIS, St-HILAIRE

	Toit.		
1.	Les Colles	0.18	Charbon de purin.
2.	Le grand banc dit « le Méchant »	0.50	Charbon de purin avec zones de schistes à Ostracodes.
3.	La Barre avec écailles de poissons	0.40	Charbon de purin.
4	La Rifle		Charbon de purin.
5.	Banc blanc	0.02	Non encore étudié.
6.	Havage	0.15	Non encore étudié.
	Mur.		

(1) N'est-ce pas une simple fente horizontale remplie par de la matière minérale tardive comme la barre du schiste qui recouvre le boghead d'Autun ?

L'analyse du schiste des Têtes-de-Chats faite par M. le professeur A. Buisine, de la Faculté des Sciences de Lille, a donné les résultats suivants :

Eau	0.50		0.50
Matières organiques	22.38		22.38
Portion soluble dans l'acide chlorhydrique	34.83	Silice soluble	0.64
		Alumine	14.18
		Carbonate de chaux	10.75
		Autres corps	9.26
Portion insoluble dans l'acide chlorhydrique	42.29	Silice	36.79
		Alumine	0.64
		Autres corps	4.86
	100.00		100.00

Il y a donc une forte proportion de silice libre dans ce banc. On voit en effet quelques points de silicification locale du schiste là où les corps de poissons ont laissé des accumulations plus épaisses d'écailles.

§ II. — *Caractères macroscopiques du schiste des Têtes-de-Chats, d'après la roche vue en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence.*

D'après des échantillons séchés à l'air, mais soustraits aux alternatives de la pluie et du soleil, la roche des Têtes-de-Chats se montre comme une matière schisteuse terne, brun noir, très foncée. Elle est compacte, lourde, chargée d'écailles ganoïdes noires, très brillantes, et de coprolithes à cassure noire satinée avec écailles semblables à celles qui sont libérées dans le schiste. Si on cherche à obtenir par le choc des cassures verticales fraîches transverses ou radiales, on obtient seulement des cassures fuyantes, très obliques. Sur celles d'entre elles qui sont parallèles aux cassures transverses, on voit affleurer les très minces lits de la matière schisteuse. La roche y paraît noire, terne, nettement et finement stratifiée. Les écailles ver-

nissées et les cassures de coprolithes se détachent sur le fond. Sur les cassures fuyantes parallèles aux faces radiales, la roche se montre beaucoup plus compacte, nettement brune, terne; la stratification n'y devient bien visible que dans les parties de la cassure qui sont redressées. Sur le fond se détachent des écailles non vernissées et la tranche satinée de gros coprolithes. Les fractures transverses et radiales spontanées sont presque verticales. La roche s'y montre noire, terne, finement stratifiée, présentant en relief les sections noires brillantes d'écailles de poissons et la tranche noire de nombreux coprolithes. Les fractures verticales spontanées sont couvertes d'un épais revêtement de calcite.

La tranche verticale faite à l'émeri est brun-roux, très foncée, finement stratifiée. La matière n'y paraît pas réticulée comme dans les bancs à Ostracodes. Sur le fond terne de la tranche se détachent en noir brillant les sections des écailles et celles des coprolithes. Les sections des écailles font saillie sur la tranche. Celles des coprolithes sont au niveau de la matière brune. On ne voit pas trace de glissements correspondant à des coupures de la gelée fondamentale comme dans les schistes à stratification disloquée. Dans quelques gros amas d'écailles j'ai observé des points silicifiés entre les écailles.

Sous le choc, la roche des Têtes-de-Chats tend à se cliver parallèlement à la stratification. Les cassures horizontales fraîches sont brun-noir, très foncées, ternes, parsemées d'un grand nombre d'écailles noires, vernissées, de tailles très variables. Il y en a beaucoup de très petites. On voit aussi des cassures noires satinées de coprolithes. Sur les sections horizontales faites à l'émeri, la roche est brun-roux, très foncée, et sur le fond se détachent les sections noires brillantes des écailles et des coprolithes.

Le schiste présente quelques surfaces obliques glissées.

Les sections verticales vues à la loupe par transparence

(fig. 102, Pl. IX) montrent un fond gris-brun, fuligineux, très finement stratifié, picoté de très petits points blancs correspondant à des cristaux tardifs. La stratification est soulignée par les sections des écailles et des coprolithes. Les écailles se détachent en jaune-brun; elles sont ou non accompagnées d'un trait blanc transparent selon que la section rencontre ou non leur plaque d'émail. Les sections des coprolithes se détachent en rouge-brun foncé. Ils sont transparents, et dans leur masse on voit souvent les sections d'écailles non posées à plat. Les coprolithes sont très nombreux, largement affaissés, couchés à plat. Il y en a de toutes les tailles. Les amas d'écailles non accompagnés de matières stercoraires sont plus rares. Ecailles et coprolithes farcissent la coupe dans toute son étendue. Dans les zones où ces corps deviennent moins nombreux, ils sont en même temps plus petits. J'ai rencontré de loin en loin des écailles dressées et quelques fissures tardives à pyrite.

Au grossissement de 30 diamètres, la section verticale présente un fond brun-rouge foncé, criblé de petits cristaux tardifs. La matière est déchirée par de petites boutonnières horizontales dont les divers aspects marquent les étapes successives du retrait vertical subi par la gelée. Les plus proches de l'état initial sont réticulées; les dernières formées, comblées par un exsudat minéralisé, forment de petits traits blancs ou jaunâtres, qui soulignent la stratification. Dans la masse sont couchées de nombreuses écailles ganoïdes, des os, des coprolithes de toutes les dimensions, les petits coprolithes sont extrêmement nombreux. Les grands coprolithes contiennent des écailles semblables aux écailles libérées dans le schiste. Ils montrent fréquemment l'arrangement et la structure des bols alimentaires dont ils étaient formés. Près des coprolithes, les filets du schiste s'infléchissent, la matière fondamentale du schiste s'étant plus fortement contractée que la matière des

coprolithes, ceux-ci ont agi à la manière de corps durs. Dans certaines régions du banc, la masse est plus chargée de menus débris végétaux fortement humifiés et de pyrite. Ces zones sont beaucoup plus foncées, presque noires.

Les coupes horizontales vues à la loupe par transparence montrent un fond brun-rouge très coloré et très inégalement chargé de matières noires. Elles sont criblées de déchirures irrégulières faites à divers moments du retrait. Sur ce fond et dans ses parties colorées se détachent les coupes d'écailles et de coprolithes dont la transparence contraste avec l'aspect finement granuleux du fond. Ce fond est criblé de très petits cristaux.

Au grossissement de 30 diamètres, le fond est rouge-brun foncé, chargé de micro-cristaux et de matières noires et brun-noir. Ce fond présente de nombreuses déchirures correspondant aux fentes horizontales en boutonnières. Les coprolithes, les écailles et les os se détachent sur le fond par leur transparence plus grande. Dans les os, dans les écailles et dans les coprolithes, la matière bitumineuse de remplissage présente souvent une structure réticulaire. Les filets du schiste sont disposés concentriquement autour des coprolithes.

§ III. — *Description de la gelée fondamentale.*

A. — LA GELÉE FONDAMENTALE NON CONTRACTÉE OU TRÈS FAIBLEMENT CONTRACTÉE D'APRÈS L'ASPECT QU'ELLE PRÉSENTE DANS LES PARTIES SILICIFIÉES.

Autant qu'on en peut juger d'après la gelée contractée et solidifiée, la matière brune fondamentale du schiste de l'Allier reste à peu près la même dans les divers bancs de la formation. C'est en particulier le cas pour les lits de la *Grosse Couche*, des *Colles*, et des *Têtes-de-Chats*. Les différences rele-

vées entre ces trois bandes portent seulement sur la manière dont la gelée s'est contractée et sur sa capacité de rétention pour le bitume. Le premier fait dépend principalement du degré de dilution de la gelée brune qui se précipitait. Le second dépend de son degré d'humification et de sa charge relative en matières stercoraires. Cette persistance des caractères essentiels de la gelée fondamentale me permet d'employer les nodules siliceux qui sont en haut de la Grosse Couche pour donner une première idée de cette matière, dans l'état où elle se présentait quand elle venait de se précipiter. Les nodules de la Grosse Couche sont des silicifications locales de la matière formatrice du schiste où tous les corps saisis se montrent parfaitement étalés, gonflés, non contractés (1).

Les nodules siliceux de la Grosse Couche sont de taille très variable, généralement petits et compacts, mesurant de 10 à 30^{mm} de longueur. Plus rarement les nodules résultent de l'agglomération de petits points silicifiés voisins. Dans la région actuellement exploitée, les nodules siliceux forment un niveau assez constant sous la bande d'Ostracodes qui termine la Grosse Couche.

Dans ces parties silicifiées (fig. 108, Pl. X), la gelée fondamentale est une matière rousse, très pâle, en flocons inégalement colorés. Les flocons sont irréguliers, inégaux, grumeleux, non pelliculaires. Une silicification plus intense fait disparaître successivement la structure grumelée, puis le contour des flocons et enfin les bactérioïdes qui chargent la gelée. Les flocons sont grossièrement empilés, incomplètement rapprochés; ils ne sont pas tassés. Leur stratification est peu nette, n'étant pas soulignée par des corps accidentels affaissés. Ces corps

(1) J'ai bien signalé quelques points silicifiés dans le lit des Têtes-de-Chats, mais comme il s'agit dans ce cas de points localisés entre les amas d'écailles d'un même poisson, ils ne se prêtent pas, comme les nodules siliceux de la Grosse Couche, à une étude de la gelée fondamentale non contractée.

accidentels sont plus ou moins complètement relevés dans les flocons ou entre ceux-ci. On ne retrouve pas ici l'aspect stratifié si accusé que j'ai signalé dans la gelée fondamentale interposée entre les Pilas des nodules siliceux du Boghead d'Autun. La différenciation des points sur lesquels la silice devait venir se localiser a été beaucoup plus hâtive dans la Grosse Couche du schiste de l'Allier qu'à Autun. La matière brune du schiste de l'Allier, dépourvue de thalles ou de corps un peu dense, n'avait encore subi aucun tassement quand elle a été rendue apte à localiser la silice.

La plupart des flocons sont formés de gelée brune seulement; d'autres sont ramassés autour de grains de pollen ou de menus débris végétaux humifiés. Tous les grains de pollen sont bien gonflés, largement étalés (fig. 108, Pl. X). Ils ont été soutenus par la gelée brune. *Les grains de pollen sont remplis par une silice incolore sans bactérioïdes.* La gelée brune n'a donc pas pénétré dans leurs cavités, pas plus dans la chambre à air que dans la cavité cellulaire. Ces cavités étaient donc pleines, closes, non perforées (1). La matière qui occupe actuellement la cavité cellulaire ne montre pas le protoplasme primitif, ni son noyau. Ces parties de l'élément cellulaire étaient donc altérées. Je conclus de ces faits qu'il s'agit de grains de pollen macérés, pleins d'eau ou d'une matière colloïdale presque homogène, saisis par les flocons de gelée brune qui se solidifiaient. Dès cette époque les flocons de gelée brune étaient donc coagulés. J'ai rencontré en effet quelques exemples de lamelles micacées, soutenues entre les pelotes de la gelée fondamentale, et parfois relevées obliquement entre celle-ci.

La matière brune fondamentale n'était pas parfaitement homo-

(1) Dans quelques grains de pollen dont le bec antérieur avait été ouvert, la cavité cellulaire est remplie par une matière finement granuleuse qui a fortement condensé le bitume.

gène. Parmi les flocons ordinaires on en voit quelques autres plus bruns, plus condensés, à grumeaux beaucoup plus fins. Ils tranchent sur les autres par leur coloration et par leur contour nettement arrêté. Ils sont mêlés aux autres et placés sur ceux-ci dans toutes les positions. Ils contiennent des bactérioïdes semblables à ceux des flocons ordinaires mais en moindre quantité. Une silicification plus complète de ces flocons bruns, en faisant disparaître leur structure et leurs caractères différentiels, donne l'impression qu'ils se confondent peu à peu avec les flocons ordinaires. Comme ces flocons plus bruns sont répartis à travers toute la masse sur la faible hauteur comprise dans l'épaisseur d'un nodule siliceux, la structure de la gelée fondamentale se montre uniforme. Il n'y a pas de zones différenciées dans cette gelée.

La réfringence de la gelée brune silicifiée est très faible. Les parois cellulaires végétales s'y détachent très bien, non seulement lorsqu'elles ont acquis la propriété de condenser le bitume par une humification préalable et qu'elles sont colorées, mais même quand elles ont été simplement macérées comme c'est le cas des grains de pollen.

Dans ces parties silicifiées la gelée fondamentale est faiblement chargée de bactérioïdes. Ce sont surtout des micrococcoïdes très petits, bullaires, ressemblant à des spores de Bactéries. Leur taille varie de 0 µ 5 à 0 µ 2. Ils disparaissent quand les flocons perdent leur contour et se fondent avec les flocons voisins en une masse homogène. Exceptionnellement les micrococcoïdes sont couplés en diplocoques. Les corps bacilloïdes sont très rares.

Dans les nodules siliceux la gelée brune n'offre pas trace de réticulation. On y constate seulement quelques fissures ondulées très fines dont la direction générale est verticale. On dirait que ces lignes correspondent à une disjonction des flocons bruns le long de leur surface de contact. Les flocons ne

sont pas coupés par ces fissures. Parfois, mais rarement, les fissures verticales sont réunies entre elles par des déchirures horizontales qui ont le même caractère. Ce sont là des fissures très hâtives de la gelée brune alors que ses flocons avaient encore leur individualité (1). Elles contrastent avec les fentes verticales du boghead d'Autun. Celles-ci, plus tardives, ont coupé la masse végéto-humique stratifiée, après son premier tassement.

Dans quelques nodules siliceux seulement j'ai constaté d'autres fractures tardives postérieures à la solidification de la silice. Celle-ci s'y présente rompue. La matière qui remplit ces fentes tardives est une substance bitumineuse brun-noir contractée en réseau. — C'est à la même matière bitumineuse qu'il faut rapporter les réticules bruns très fins qui comblent les déchirures laissées entre les parties silicifiées de la masse et ses parties non silicifiées.

B. — LA GELÉE FONDAMENTALE D'APRÈS SES PARTIES CONTRACTÉES ET SOLIDIFIÉES.

Contractée et solidifiée, la gelée fondamentale se présente sous un aspect tout différent de celui que je viens de décrire d'après les parties silicifiées. Le faciès qu'elle présente dans le schiste de l'Allier est particulièrement important à étudier. La roche étant à la limite des charbons et des schistes organiques, on peut observer comment la gelée fondamentale, qui est d'abord l'élément principal, y devient par places subordonnée à la matière minérale.

En dehors des nodules siliceux la substance fondamentale des schistes des Têtes-de-Chats est une matière brun-rouge, très colorée. On dirait une gelée très compacte fortement contractée. En coupe verticale elle est marquée de petits traits

(1) Dans la silice de remplissage d'une fente horizontale particulièrement bien coupée, je n'ai pas trouvé de bactérioïdes.

horizontaux plus sombres (fig. 106, Pl. X). Les bactérioïdes très nombreux y sont pourtant très peu visibles. — Sur la coupe horizontale, la cause de la striation verticale ne se reconnaît pas, les bactérioïdes s'observent plus facilement. — La gelée est nettement stratifiée, cette stratification est indiquée par sa structure striée et par les nombreux corps accidentels qui la chargent. Les grains de pollen y sont affaissés. Les menus débris humifiés, les coprolithes, les plaques d'émail et les parcelles de mica y sont couchés à plat. La stratification est encore soulignée par la réticulation de la matière.

Cette gelée est mêlée de petites masses stercoraires brun clair dans toutes ses parties. Ce sont des fragments provenant de l'éparpillement de coprolithes mal agrégés. *D'après la fréquence de ces petites masses et leur répartition par toute la masse on peut affirmer que la gelée fondamentale s'est coagulée dans un milieu dont toutes les parties étaient chargées de produits stercoraux.*

Le degré d'humification atteint par la gelée du schiste de l'Allier est beaucoup plus élevé que dans les trois exemples précédemment étudiés. De plus la matière n'était pas au même degré d'humification dans toutes ses parties. Certains filets beaucoup plus colorés que les autres paraissent noirs comme s'ils avaient été plus oxydés. Sur ces filets très foncés le retrait est toujours plus intense. Ces parties plus colorées sont noyées dans la masse générale. Elles participent à sa réticulation. Ces points plus colorés ne correspondent pas aux points de pénétration de la matière bitumineuse. Dans ces lenticules plus colorées les fragments végétaux brun-rouge ou brun-noir se distinguent très difficilement. La limite de leur contour reste indécise et très souvent, ou bien on rapporte toute la masse colorée à un débris végétal d'assez grandes dimensions, ou bien au contraire la présence d'un fragment figuré humifié passe inaperçue. La gelée fondamentale n'est pas ici différenciée

en zones claires orangées ou jaune d'or. Elle n'intervient pas dans les corps jaunes du schiste de l'Allier (1).

Sous l'action de la contraction verticale, la gelée s'est déchirée en réseau. D'un point à l'autre de la masse, l'intensité de cette réticulation est très variable. Dans les plus grandes déchirures, surtout vers le haut du banc, il y a eu émission d'un exsudat qui a comblé les solutions de continuité. La réticulation de la gelée n'entame pas les corps accidentels qui y sont submergés, comme les coprolithes et les menus débris. Elle isole parfois les grains de pollen mais en les laissant affaissés. Sauf en quelques points très limités, la gelée n'est pas coupée par des fentes verticales ou obliques comme dans le charbon de Ceara ou dans le Brown Oilshale.

La réticulation de la gelée fondamentale modifie beaucoup son aspect en ses divers points. Il convient de signaler les principales de ces variantes.

Dans un premier état, sur les coupes verticales, la gelée brun-rouge très foncée est criblée de petites fentes horizontales (fig. 104, Pl. X). Les plus ouvertes contiennent un petit cristal tardif incolore. On voit des cristaux tardifs beaucoup plus grands, dressés à la frontière de telles régions et des filets brun-noir les plus humifiés. En coupe horizontale, la gelée brune est déjà suffisamment transparente pour permettre d'apercevoir les bactérioïdes. Ce faciès fendillé est l'état le plus ordinaire de la gelée.

Etant plus fortement déchirée (fig. 105, Pl. X), la gelée fondamentale se présente comme un réseau rouge-brun à fils épais. Dans l'épaisseur de chaque fil il y a une ou plusieurs fissures. Dans les mailles sont des cristaux tardifs ; beaucoup sont

(1) Quelques filets particulièrement chargés de pollen et qui sont de véritables lamelles de charbon pollinique donnent parfois l'impression de lames jaune d'or dérivées de la gelee fondamentale, lorsqu'on les examine à un grossissement très faible ou dans les parties de la préparation qui ne sont pas très bonnes.

horizontaux. Les plus gros sont souvent dressés. Près de la surface des cristaux il y a de nombreux bactérioïdes. Dans ces lenticules les grains de pollen sont plus difficilement visibles. L'affaiblissement de la teinte de la gelée diminue l'opposition de coloration entre cette matière et le pollen.

Dans une troisième catégorie de régions les fils de la gelée fondamentale sont rompus. Leurs fragments sont soutenus en suspension dans un exsudat brun clair chargé de très nombreux bactérioïdes. Ces parties sont criblées de cristaux volumineux, imparfaits, diversement orientés. Les grains de pollen affaissés y sont plus facilement visibles que dans les régions précédentes. Eux seuls indiquent qu'il y avait une stratification primitive dans ces lenticules. Dans ces régions la charge en matières minérales l'emporte de beaucoup sur la matière organique. Celle-ci est subordonnée à celles-là. En ces points la roche est un mélange de lenticules schisteux et de lamelles de charbon.

Il y a des passages insensibles de ces zones les unes aux autres. On voit par exemple des régions plus déchirées de la troisième catégorie faire suite latéralement à celles de la seconde. Les régions fortement déchirées deviennent très abondantes vers le haut du banc des Têtes-de-Chats.

En quelques points, surtout vers le haut du banc, la déchirure a été plus complète encore (fig. 105, Pl. X). Vers le haut de la figure, la gelée fondamentale s'est fendue horizontalement. Dans la solution de continuité s'est accumulé un exsudat brun clair chargé de bactérioïdes moins nombreux, mais très régulièrement répartis. Dans cet exsudat on peut observer des filets horizontaux de la gelée brune et des grains de pollen tenus en suspension. En quelques points on peut voir les filets de la gelée initiale assez nombreux plus ou moins écartés. Les filets de la masse se sont d'abord isolés au début de la contraction, puis ils se sont rompus, ne

pouvant suivre le retrait qui s'accentuait. La matière minérale est très nettement localisée dans les exsudats de ces grandes fentes.

Même à son état contracté la gelée fondamentale montre que sa prise a été rapide. Elle tient en suspension des lamelles micacées, des écailles entières et des plaques d'émail tombées de coprolithes désagrégés. Elle contient de nombreux coprolithes.

Tous ces corps sont posés à plat, en stabilité. Je n'ai rencontré que très rarement des exemples d'écailles piquées de champ ou obliquement dans la gelée brune. Le pollen et les menus corps végétaux humifiés sont couchés à plat dans la gelée et complètement affaissés. L'affaissement des spores tétraédriques est moins complet.

La gelée fondamentale est chargée de bactérioïdes dans toutes ses parties. Ces corps sont fort nombreux. Ils deviennent très visibles dans les parties déchirées et là où ils sont enfermés en suspension dans l'exsudat de remplissage. Ils sont plus abondants dans les régions les plus noires. Il y a des micrococcoïdes, des macrococcoïdes et des bacilloïdes. Les micrococcoïdes sont sphériques, bullaires, leur diamètre varie de o μ 3 à o μ 7. Ce sont toujours ces mêmes sphérules brillants paraissant creux et entourés d'une auréole claire lors de la mise au point central. Les macrococcoïdes ont de o μ 7 à 1 μ 3. Les bacilloïdes peu nombreux mesurent o μ 5 à o μ 7 sur 2 à 3 μ. Les bactérioïdes sont difficilement visibles dans les parties les plus compactes de la gelée fondamentale. Ils ne s'y détachent pas en clair comme il arrive dans d'autres charbons. Dans les parties finement réticulées et dans les exsudats ils sont très visibles. Ils sont uniformément répartis dans ces derniers et tenus en suspension. Nulle part les corps bactérioïdes ne sont nettement couchés sur les corps accidentels enfouis dans la gelée.

C. — CONTRACTION DE LA GELÉE FONDAMENTALE.

La gelée brune du schiste des Têtes-de-Chats s'est fortement contractée dans le sens vertical. J'ai relevé ses déchirures et la structure réticulée qui en était la conséquence. Plus la charge en matières minérales s'élève, plus cette réticulation s'exagère, comme on l'observe dans les zones qui méritent le nom de schistes organiques.

Les ruptures de la gelée se sont produites quand celle-ci avait déjà une certaine fermeté. La masse n'était pas encore complètement solide puisqu'il y a eu remplissage des fissures par des exsudats. Les dernières de ces manifestations ont été les plus importantes.

On obtient des valeurs assez différentes pour la contraction verticale selon les méthodes qu'on emploie pour l'évaluer. Si l'on compare l'épaisseur d'un des grains de pollen étalés qu'on rencontre dans les nodules siliceux à l'épaisseur d'un grain de même espèce affaissé dans la gelée contractée, on trouve pour la contraction 12,5 (1). Ce nombre est très élevé eu égard aux contractions que j'ai signalées jusqu'ici. Je crois pourtant qu'il s'écarte peu de la valeur réelle de la contraction. Si on ne tient pas compte de la structure réticulée de la couche, on a une idée de sa *contraction apparente* en comparant les distances verticales des deux filets qui comprennent un nodule siliceux dans la région du nodule et à une certaine distance de celui-ci. J'ai trouvé ainsi 3,5 pour la contraction verticale. Ce nombre est certainement trop faible quand il s'agit d'apprécier le retrait de la gelée parce que la matière fondamentale comprise entre les deux lits choisis est déchirée en réseau

(1) En employant les grosses spores groupées par quatre au lieu du pollen, comme leur affaissement est moindre que celui du pollen, la contraction est représentée par 7, mais ces spores agissent manifestement comme des corps durs par rapport à la gelée voisine.

parfois très lâche. Les deux nombres qui précèdent ont d'ailleurs l'un et l'autre le grand tort d'être tirés de la Grosse Couche, bien plus que des Têtes-de-Chats. Par rapport aux gros coprolithes des Têtes-de-Chats la contraction de la gelée brune est de 1,9. Ce n'est là qu'une contraction relative.

Les grains de pollen et les menus débris humifiés contenus dans la gelée fondamentale ne sont pas rompus. La contraction de ces corps n'a pas été plus grande que celle de la gelée. La matière osseuse s'est plus fortement contractée que la gelée. Les os creux sont brisés. Le bitume qui emplit leurs cavités est réticulé. Je n'ai pas trouvé de poches avec bitume réticulé dans la gelée fondamentale des Têtes-de-Chats. Dans la Grosse Couche ces poches sont nombreuses et très étendues au pourtour des nodules siliceux.

D. — LA RÉTENTION DU BITUME PAR LA GELÉE FONDAMENTALE

La gelée fondamentale a retenu une grande charge de bitume. Elle doit à cette action sa forte coloration et sa forte contraction. Le bitume a été retenu par imbibition générale de la matière. Il n'y est pas en amas individualisés. On ne le voit prendre naissance en aucun point de la masse. La répartition de bitume est assez uniforme.

E. — LA RÉTENTION DE LA MATIÈRE MINÉRALE PAR LA GELÉE FONDAMENTALE

Je n'ai pas observé de localisation de la matière argileuse en grands cristaux dans la gelée brune des Têtes-de-Chats.

Dans les parties finement fissurées la matière fondamentale est criblée de petits cristaux. Il ne s'agit là probablement que d'une localisation tardive très indirecte de la matière minérale. Celle-ci vient combler un retrait de la gelée brune. C'est cer-

tainement le cas pour tous les cristaux développés dans les régions plus largement réticulées.

La gelée brune a cependant subi dans le schiste de l'Allier deux sortes de minéralisation qui dénotent l'une et l'autre une action élective spéciale de cette gelée pour la matière minérale.

Dans les grandes fentes, comblées par l'exsudat à bactérioïdes, j'ai indiqué déjà que la matière minérale est localisée en quantité suffisante pour se montrer au microscope polarisant. Elle y est uniformément répartie. Les cristaux y sont horizontaux. La disposition en colonnettes rayonnées, constatée dans le schiste du Bois d'Asson, ne se retrouve pas ici. Cette première localisation est extrêmement nette. Elle établit une différence précise entre l'exsudat des grandes fentes et la gelée à bactérioïdes déchirée en grandes mailles des régions à grands cristaux (voir le bas de la fig. 105, Pl. X).

L'autre localisation est celle qui a donné les nodules siliceux. Dans la Grosse Couche la silice s'est localisée sur certaines portions de la gelée brune. Cette localisation a été hâtive, antérieure à la réticulation de la masse voisine, puisque dans les nodules il n'y a aucune trace de tassement ni de réticulation de la gelée. Cette localisation de la silice dépend-elle uniquement des caractères propres de la gelée brune? Je ne le pense pas. Il me semble que nous avons là des faits analogues à ceux du schiste d'Autun. A la suite de fissures dues au retrait de la gelée, la région qui touche les fissures a été modifiée et la matière a acquis une capacité d'absorption de silice très remarquable, de là ces nodules siliceux fissurés d'Autun. Dans la Grosse Couche de Buxière, à part la fissure initiale qui frappe peut-être moins parce qu'elle est plus hâtive, il me paraît y avoir un fait analogue, c'est-à-dire des modifications locales de la matière fondamentale à la suite desquelles elle devient capable de localiser la silice. A Buxière comme

à Autun ces parties silicifiées nous présentent la matière organique étalée non contractée. Vers la périphérie des nodules de la Grosse Couche, on voit nettement qu'ils résultent de la confluence de points silicifiés isolés.

Dans la couche des Têtes-de-Chats, la localisation de la silice porte surtout sur la gelée comprise entre les amas d'écailles provenant d'une même peau de poisson. Ce sont plutôt les résidus du corps de l'animal que la gelée entourante qui ont localisé la silice.

On doit très probablement regarder comme une des caractéristiques de la capacité rétentrice de la gelée fondamentale du schiste de l'Allier pour la matière minérale, la manière dont elle a retenu la pyrite de fer. La matière particulièrement riche en produits sulfurés, chargée de coprolithes éparpillés dans toutes ses parties est criblée de très petits cristaux de pyrite qui ont tendance à s'agglomérer en boules. Ces cristaux sont encore plus abondants au voisinage immédiat des grands coprolithes et dans les parties les plus chargées de débris fortement humifiés.

§ IV. — *Les corps accidentels du schiste des Têtes-de-Chats*

A. — LES DIVERSES CATÉGORIES DE CORPS ACCIDENTELS QUI SE RENCONTRENT DANS LE SCHISTE DES TÊTES-DE-CHATS

Les corps accidentels qui chargent la gelée fondamentale sont très nombreux dans le schiste des Têtes-de-Chats. Ils interviennent d'une façon sensible dans la composition de ce charbon. Mais à cause de la structure réticulée que prend ici la matière organique, les coefficients d'intervention de chaque catégorie de corps accidentels, calculés d'après les méthodes ordinaires, se trouvent fortement abaissés et abaissés d'autant plus que la réticulation est plus forte.

Les diverses catégories de corps accidentels que j'ai rencontrées dans le schiste des Têtes-de-Chats sont :

Des grains de pollen ;

Des spores ;

Des thalles provenant de fleurs d'eau ;

Les thalles d'une Bactériacée ou d'une Cyanophycée : le *Zoogleites elaverensis ;*

Des menus débris végétaux humifiés très nombreux ;

Des coprolithes entiers et éparpillés ;

Des écailles ganoïdes et des os isolés ;

Des lamelles micacées.

J'ai recherché, mais sans succès, si dans cette masse très chargée de matières organiques, on ne trouverait pas quelques traces d'Infusoires ou d'organismes analogues à ceux des purins. Je n'ai pas pu montrer l'existence de tels êtres. D'ailleurs on ne doit pas oublier qu'à côté de faits indiquant des liqueurs génératrices riches en matières organiques la masse présente des faits de fixation très remarquables qui dénotent un arrêt brusque des phénomènes de fermentation qui avaient pu s'accomplir antérieurement.

B. — LES GRAINS DE POLLEN

Les grains de pollen sont extrêmement nombreux dans le schiste des Têtes-de-Chats. Ces organites y sont couchés à plat, complètement affaissés, les faces opposées étant rapprochées au contact. Ils se présentent comme de très minces lames jaune d'or ou orangé, non différenciées en intine et exine. Leur cavité est difficilement visible. Sur quelques-uns seulement on distingue la partie libre de l'intine qui sépare la cavité cellulaire de la chambre à air. Il s'agit donc de grains de pollen construits comme ceux des Cordaïtes. Très souvent le contour de ces grains paraît légèrement diffluent. Des grains

voisins adhèrent entre eux. Sur les coupes verticales, il est impossible de reconnaître s'il s'agit d'une ou de plusieurs espèces de pollen. Sur les coupes horizontales, les grains de pollen échappent à peu près complètement.

Dans les nodules siliceux de la Grosse Couche, j'ai reconnu que les grains de pollen semblables à ceux des Têtes-de-Chats appartiennent au genre *Cordaïtes*, et qu'on en trouve *trois espèces* très différentes par leurs dimensions. C'est le beau pollen à chambre aérifère coiffant largement une cellule pyriforme que je n'ai vue cloisonnée dans aucune des trois espèces. L'exine était ornée d'épaississements réticulés vers les deux pôles de la chambre à air dans la grande espèce et de perles saillantes dans la petite. On ne peut dire que les petits grains et la forme moyenne sont des états moins développés du pollen de la grosse forme. On rencontre les uns et les autres avec leurs dimensions aussi bien libres qu'enfermés dans des sacs polliniques affaissés. Les dimensions des grains de pollen étalés sont :

Pour la grande forme. Fig. 112, Pl. IX.	Diamètre longitudinal. .	130 à 160 μ.
	Diamètre transversal . .	75 à 85 μ.
	Epaisseur du grain (1) .	80 à 90 μ.
Pour la forme moyenne. Fig. 114, Pl. IX.	Diamètre longitudinal. .	80 à 90 μ.
	Diamètre transversal . .	30 à 35 μ.
	Epaisseur du grain. . .	35 à 40 μ.
Pour la petite forme. Fig. 118, Pl. X.	Diamètre longitudinal. .	40 μ.
	Diamètre transversal . .	20 μ.
	Epaisseur du grain . .	20 μ.

La petite forme échappe complètement sur les sections verticales. Les grains de pollen de la grande forme, complètement étalés et affaissés dans la gelée fondamentale, mesurent 190 μ de longueur et une épaisseur de 6 μ. Si on ne tient pas compte de la réticulation de la gelée, on trouve 27000 grains de pollen par millimètre cube en moyenne. Les grains sont

(1) Cette épaisseur est comptée du bec saillant au centre de la lame externe de la chambre à air.

alors nettement isolés, mais par places ces grains deviennent très nombreux. Ils sont juxtaposés et forment des filets jaune d'or qui tranchent nettement sur la gelée rouge-brun. Dans ces filets, le nombre des grains de pollen s'élève à 540000 par millimètre cube. Ce sont de minces lamelles de *charbon pollinique*.

On trouve quelques masses de pollen provenant d'un même sac sécréteur et assez souvent des sacs polliniques entiers (fig. 113, Pl. IX). Ces sacs sont très affaissés. Autour du pollen on reconnaît la paroi du sac, dont les cellules ont été humifiées. Leurs parois sont à l'état de corps brun-rouge difficiles à délimiter dans la gelée fondamentale.

Il y a en moyenne 8 à 9 grains de la petite espèce pour 3 à 4 grains de la forme moyenne et pour un seul de la grosse espèce.

Dans les nodules siliceux de la Grosse Couche les coefficients d'intervention du pollen sont les suivants :

Coefficient vertical	0,028
Coefficient horizontal	0.025
Coefficient en volume.	0.006

Il y avait d'abondantes pluies de soufre émises par une végétation de Gymnospermes arborescentes.

Sur quelques grains seulement, observés dans un nodule siliceux, j'ai eu occasion d'observer de petites sphères fixées à la paroi de l'intine par un très petit bec. Ces corps rappelaient des Chytridiacées, toutefois leur contenu protoplasmique, coloré en brun, est muni d'un gros noyau polaire. — Les corps protoplasmiques fixés localisaient le bitume à Buxière comme les protoplastes de Pilas le localisaient à Autun.

C. — LES SPORES.

Les spores sont extrêmement peu nombreuses dans le schiste des Têtes-de-Chats, 4 à 12 par millimètre cube. Dans la gelée contractée elles sont couchées à plat, affaissées. Leur paroi est jaune d'or ou rouge vif avec bordure centrale plus foncée. La cavité de la spore est indiquée par un trait. Ces spores paraissent provenir d'une seule espèce de Cryptogames vasculaires. Sur les sections horizontales elles se détachent nettement. Elles sont tétraédriques. Elles mesurent en moyenne 80 μ de long et 8 μ d'épaisseur.

Dans les nodules siliceux de la Grosse Couche j'ai trouvé des spores tétraédriques à parois épaisses isolées ou groupées par quatre, à surface légèrement mamelonnée ou rugueuse. Elles mesuraient 60 μ de long sur 50 d'épaisseur. Elles sont bien étalées sans intine plissée ou cloisonnée, ce qui exclut tout rapprochement avec un pollen à grains agrégés (fig. 115, Pl. IX). Dans ces mêmes nodules j'ai observé d'une façon sporadique quelques spores de Thallophytes.

D. — LES FLEURS D'EAU.

Les fleurs d'eau sont extrêmement rares dans le schiste de l'Allier. Il n'y en a guère que 1 à 4 par millimètre cube. C'est en section verticale qu'elles sont le plus facilement visibles (fig. 106, Pl. X). Elles sont représentées par des thalles libres et isolés. Ce sont des corps dont la couleur varie du jaune d'or au rouge vif; ce qui les rend très visibles. Ils sont affaissés couchés à plat. Ils mesurent 75 μ de long sur 13 μ d'épaisseur. Ces corps sont discoïdes, à cellules rayonnantes affaissées. Leurs parois sont très épaisses, à couches concentriques. Sur la section verticale on aperçoit l'indication des cavités cellulaires sous l'aspect de traits un peu plus sombres

en forme de virgules irrégulièrement posées les unes sur les autres. La partie renflée de la cellule est extérieure. Il s'agit d'un être paucicellulaire à cellules convergentes. Les cavités cellulaires sont très étroites. Les parois cellulaires sont épaisses, striées, mais sans lamelles moyennes différenciées. Elles sont à l'état de corps jaunes. Je ne connais pas encore suffisamment les caractères spéciaux des sections horizontales de ces êtres pour leur assigner dès maintenant un nom générique. Il me suffit pour le moment de constater que l'état de concentration relative des eaux brunes génératrices du schiste des Têtes-de-Chats n'était pas incompatible avec la présence de fleurs d'eau. D'ailleurs, comme on le verra au paragraphe suivant, *Pila bibractensis* a pu vivre à côté du *Zoogleites elaverensis*.

E. — LES THALLES DES ZOOGLEITES ELAVERENSIS.

Les êtres ayant vécu dans les eaux brunes génératrices du schiste des Têtes-de-Chats sont indiqués par une autre catégorie de thalles dont j'ai fait un genre nouveau sous le nom de *Zoogleites elaverensis* (fig. 107, Pl. X). Ils diffèrent profondément des fleurs d'eau ordinaires, comme Reinschia, Pila, Thylax, par la nature de leurs parois cellulaires. La gelée interposée entre leurs masses plasmiques, fossilifiée dans la matière humique en présence du bitume, n'a pas donné, par localisation des carbures éclairants, ces corps jaune d'or si caractéristiques des bogheads. Le contraste est d'autant plus frappant que la gélose des thalles des fleurs d'eau et la membrane des grains de pollen donnent à côté des Zoogleites les corps jaunes ordinaires des bogheads. Il y a donc une différence chimique très nette et très tranchée entre la composition de la paroi des Zoogleites et celle des algues gélosiques flottantes des bogheads.

La présence du Zoogleites est liée à celle d'eaux généra-

trices chargées de matières stercoraires. Zoogleites disparaît dès que la dilution devient plus forte. Vers le haut du banc, par exemple, lorsqu'on passe au schiste à Ostracode, les Zoogleites disparaissent. D'autre part, j'ai trouvé le Zoogleites à Autun, dans un lit de faux boghead, particulièrement chargé de coprolithes. Ce dernier fait montre incidemment que les Pilas, comme nos Euglènes, prospéraient encore sur des eaux riches en matières organiques d'origine animale.

Le faciès de la plante est celui d'une Zooglée à petites cellules brun-noir très foncées, noyées dans une abondante gelée brun-clair, café au lait. Ces petites masses sont posées à plat, peu affaissées. La gelée du Zoogleites était donc particulièrement rigide. Ces thalles ellipsoïdes mesurent en moyenne : grand diamètre horizontal, 45 μ; petit diamètre horizontal, 36 μ; diamètre vertical, 20 μ. Ces dimensions varient du double à la moitié. Les protoplastes cellulaires sphériques, de 1 μ à 1 μ 2 de diamètre, sont uniformément répartis dans cette masse.

L'intense coloration des protoplastes du Zoogleites indique que le bitume y a été localisé par action élective. Il y est arrivé par diffusion à travers la gelée cellulaire. Celle-ci a faiblement retenu la matière bitumineuse. Elle est très peu colorée, brune, et non pas rouge ou jaune d'or. Sa teinte s'écarte donc beaucoup de celle du bitume libre.

Les Zoogleites sont peu abondants, isolés. Là où ils sont le plus nombreux, leur nombre n'atteint pas une douzaine par millimètre cube. Leur intervention dans le volume de la masse est donc inappréciable. Ce corps nous fournit pourtant une caractéristique très commode pour différencier le banc des Têtes-de-Chats des autres lits de la formation. On les trouve dans toute la hauteur du banc. Sur des coupes imparfaites, Zoogleites peut être confondu avec des fragments alimentaires finement granuleux, tombés de coprolithes éparpillés. La répartition uniforme des éléments cellulaires dans la gelée du Zoo-

gleites, leur volume et leur coloration permettent avec quelque habitude de distinguer ces deux sortes de corps. La vague ressemblance que je viens de signaler m'a fait rechercher si Zoogleites ne représenterait pas un état de développement d'une bactérie zooglée existant dans les coprolithes. Je n'ai trouvé aucune indication confirmant cette origine.

Je n'ai pas observé de cellules brillantes comparables aux spores des bactéries dans les thalles de Zoogleites.

F. — LES MENUS DÉBRIS HUMIFIÉS

Les menus débris humifiés des Têtes-de-Chats sont surtout des débris végétaux. Ils sont abondants, très fragmentaires. Ce sont des débris de parois et de petits morceaux de tissus diversement humifiés. Suivant leur nature et leur état d'humification, ils ont condensé le bitume très différemment en produisant des corps rouge-brun foncé, des corps brun-noir et même des fusains. Les corps rouge-brun ne sont pas brisés dans la masse de la gelée fondamentale. Ce fait dénote une contraction de la gelée particulièrement forte, puisqu'elle est au moins aussi grande que celle des menus débris.

Dans le banc gréseux à éléments clastiques qui précède les Têtes-de-Chats, les fragments végétaux écorce, bois, sont plus gros. Les masses rouge-brun, très foncées et très chargées de bitume, qu'elles ont produites, forment des lames et des morceaux d'un charbon remarquablement brillant, finement craquelé.

G. — LES COPROLITHES.

Le schiste des Têtes-de-Chats contient de nombreux coprolithes. Ces corps sont moulés. Ils proviennent de reptiles ichthyophages. Presque tous, en effet, contiennent des écailles de *Paleoniscus*. Quelques-uns seulement montrent des os. Ces

coprolithes sont entiers ou éparpillés. On trouve de petites masses stercoraires dans toutes les parties de la gelée fondamentale. Ce caractère permet d'affirmer que la matière brune s'est précipitée dans une eau particulièrement chargée de matières animales (fig. 102, Pl. IX).

Ces coprolithes appartiennent à trois types. L'un d'eux est beaucoup plus fréquent que les autres. C'est même le seul qu'on remarque tout d'abord. La masse stercoraire y est tordue dans son ensemble autour de son axe de figure. Le corps a la forme d'un bicône plus allongé d'un côté. La matière rouge-brun clair est chargée de fines granulations plus colorées. Les granulations sont inégalement réparties. Elles dessinent sur le fond des mailles irrégulières délimitées par un réseau plus clair. Les granulations mesurent 0 μ 1 à 0 μ 2.

Ces granulations sont teintes par action élective, elles ont condensé plus fortement la matière bitumineuse. Je ne puis dire si ces points bruns représentent des granulations plasmiques provenant de la destruction des matières alimentaires ou de très petits micrococques. Ces deux sortes de corps sont également possibles dans de tels amas. D'après les coprolithes de la troisième sorte j'inclinerai, plutôt, vu la coloration et l'aspect, à laisser ces granulations aux débris plasmiques provenant des matières alimentaires. Dans les coprolithes de cette première sorte les bols alimentaires ne sont pas du tout individualisés. Ils contiennent toujours des écailles et quelquefois des os. Les os et les écailles peuvent s'y trouver rassemblés en masses considérables, presque pures de tout autre élément.

Les coprolithes de la seconde sorte diffèrent des premiers par l'absence de réticulation, ce qui tient à une répartition uniforme de leurs granulations, et par le grand volume de ces granulations. Ces granulations sont encore rouge brun foncé. Les coprolithes de cette sorte contiennent souvent des lamelles d'émail isolées et brisées en menus fragments (fig. 103, Pl. IX).

Les coprolithes de la troisième sorte sont relativement plus rares dans le schiste des Têtes-de-Chats. La matière stercoraire forme une lame très épaisse, roulée en long cornet. Dans l'épaisseur de la lame, les bols alimentaires sont nettement individualisés et agglutinés entre eux par un mucus intestinal plus clair. Les coprolithes de cette sorte contiennent de très nombreuses écailles et des os. De même que les deux catégories précédentes, les coprolithes à bols alimentaires distincts se retrouvent dans toutes les couches de la formation. C'est une même espèce animale qui les a produits. Or, très fréquemment, dans les coprolithes de cette sorte recueillis près de la couche de *Taille*, on voit, outre les granulations alimentaires colorées en rouge-brun, de très beaux Bacilles en chaînette ou isolés, qu'il est très facile d'observer dans le mucus, plus transparent, qui unit les bols alimentaires. C'est aussi dans les fins canalicules osseux des écailles de ces mêmes coprolithes que j'ai rencontré teints en brun noir des éléments sphériques que je rapporte au *Micrococcus lepidophagus* de M. B. Renault. Les éléments bactériens vivants saisis dans les coprolithes ont donc été fixés et colorés par élection, comme les cellules du Zoogleites.

Je n'ai pas rencontré dans la couche des Têtes-de-Chats d'exemplaires d'une quatrième sorte de coprolithes très remarquable, qui se voit abondamment répandue dans le *Gazon*. Il s'agit de coprolithes transparents jaune d'or qui font prévoir la possibilité de corps jaune d'or d'origine stercoraire.

Tous ces coprolithes ont fortement condensé le bitume. Ils ont produit des nodules d'un charbon très noir satiné qui contraste sur la cassure et sur les tranches avec la matière brune entourante. Ce sont là des masses d'un charbon animal coprolithique. Dans les coprolithes la matière résiduelle est à l'état de corps rouge-brun, les granulations étant plus fortement colorées que le fond. Les os et la partie osseuse des

écailles sont à l'état de corps jaune. Les masses protoplasmiques sont colorées en brun noir. L'émail reste incolore. Les petits sphérules qui y ont été taraudés sont incolores ou remplis de pyrite. Je n'y ai pas vu de bitume ni de corps bruns que je puisse rapporter à une bactérie. Les cavités closes des os complètement enfermés dans les coprolithes sont remplies de bitume.

Les coprolithes sont couchés à plat, soutenus par la gelée fondamentale. Ils sont orientés en tous sens dans le plan. Ils adhèrent intimement à la gelée entourante. Il ne s'est pas différencié autour d'eux une gaîne minéralisée, comme c'est le cas dans les coprolithes d'Igornay, de Commentry, et dans les nodules de sidérose plus anciens rencontrés à Saint-Hilaire. Les corps voisins de ces coprolithes ne sont pas altérés. Ils ne présentent pas ces points de surcoloration qu'on remarque sur quelques Pilas qui ont été touchés par des coprolithes. Les coprolithes ont agi comme corps durs par rapport à la gelée entourante. Ils sont moins fortement contractés que celle-ci.

L'intervention quantitative des coprolithes dans le schiste des Têtes-de-Chats est à peu près indiquée par les nombres suivants : Le coefficient vertical varie entre 0.166 et 0.250. Le coefficient horizontal est de 0.096. Le coefficient en volume est compris entre 0.036 et 0.075. La présence de plusieurs gros coprolithes en un point bouleverse ces coefficients. Les nombres ci-dessus ne tiennent pas compte des écailles et des os isolés, qui sont pour la plupart tombés des coprolithes. Ils ne tiennent pas compte non plus de la réticulation de la gelée fondamentale.

H. — LES OS ET LES ÉCAILLES ISOLÉS

Il y a de nombreuses écailles isolées dans le schiste de l'Allier. On en trouve dans toutes les parties de la masse. Il y a des os isolés. Ils sont moins nombreux que les écailles.

Os et écailles sont semblables à ceux des coprolithes. Ils sont conservés de la même manière. Ils montrent les mêmes degrés d'altération. Sur le bord des coprolithes, d'ailleurs, on voit fréquemment des écailles et des os détachés de ceux-ci, libérés des massules stercoraires qui les empâtaient. Il y a donc moyen de reconnaître que la plupart des os et des écailles libres sont tombés de la surface des coprolithes entiers et surtout des coprolithes éparpillés.

Ces corps sont couchés à plat. Ils ont été soutenus par la gelée brune, qui avait fait prise. On les voit exceptionnellement piqués verticalement ou obliquement dans la gelée brune et maintenus dans cette position par la matière fondamentale.

Les écailles ont agi comme des corps durs. Les os sont fréquemment brisés. Leur contraction a été plus forte que celle de la gelée entourante. Leur rupture a été généralement tardive. J'ai vu pourtant la gelée fondamentale stratifiée pénétrer en se dilatant dans la fracture d'un os. Le reste de la cavité de la fracture était occupé par du bitume réticulé.

On rencontre assez souvent des groupes d'écailles ou d'os rappelant les plages qu'on trouve dans les coprolithes, mais débarrassés de la partie molle des matières stercoraires. Ces amas sont aussi tombés des coprolithes. Quelques-uns ont un volume considérable et donnent parfois l'illusion de concrétions oolithiques dans la roche. — Je ne puis pourtant attribuer la même origine à des morceaux de peaux de poissons ou à des poissons presque entiers rencontrés dans le schiste. Je vois dans ces débris des lambeaux de cadavres non dévorés. C'est entre les deux rangées d'écailles de fragments semblables que j'ai eu occasion d'observer quelques granulations silicifiées dans le schiste des Têtes-de-Chats.

I. — LES LAMELLES MICACÉES

Le schiste des Têtes-de-Chats contient des lamelles micacées. Elles sont sporadiques, petites, couchées à plat, mêlées aux fragments d'émail, dont elles se distinguent facilement par leur striation et leur dichroïsme. Elles ont été maintenues en suspension par la gelée brune. Ces mêmes lamelles sont un des éléments du lit gréseux qui précède les Têtes-de-Chats. Il y a donc lieu de penser que les éléments micacés sont plutôt une dernière trace des éléments clastiques amenés par les ruisselets d'alimentation de la mare à charbon qu'un apport éolien. Les menus débris végétaux représentent de même ce qui restait en suspension de l'apport végétal amené avec les matériaux minéraux clastiques du banc gréseux.

§ V. — *L'intervention bitumineuse*

La masse du schiste de l'Allier a été soumise à une imprégnation bitumineuse. Le bitume a été énergiquement retenu par la gelée fondamentale et par les corps qui y sont plongés. De ce fait la masse a subi un fort enrichissement en hydrocarbures. La matière bitumineuse est arrivée toute formée. On ne voit nulle part dans le schiste de faits indiquant qu'elle se forme sur place par transformation des corps organiques.

Dans la couche des Têtes-de-Chats l'intervention du bitume a été tardive. La matière a pénétré par une diffusion générale à travers toute la masse. Le bitume a été retenu par la gelée brune, par la matière stercoraire des coprolithes, par le tissu osseux, par les tissus végétaux moyennement humifiés. Dans ce milieu le tissu osseux, les parois du pollen et la gélose des fleurs d'eau sont passés à l'état de corps jaune. Les coprolithes sont à l'état de charbon satiné. Les os forment un charbon

compact. Les débris végétaux ont donné des plaques de charbon brillant et des morceaux de fusain.

Le bitume s'est accumulé à l'état libre dans les cavités des os. Il s'y montre comme une substance brun noir, réticulée par contraction. On le rencontre avec les mêmes caractères et également réticulé dans les fentes tardives des nodules siliceux et dans les déchirures tardives qui isolent la gelée fondamentale des nodules siliceux. Le bitume ne forme pas de masses individualisées dans la gelée brune.

§ VI. — *Les matières minérales tardives.*

J'ai signalé l'absence de matières argileuses tardivement individualisées dans la gelée fondamentale. D'autre part j'ai fait connaître la modification hâtive qui frappe certains points de la gelée et qui lui permet de localiser la silice pour donner des nodules tels que ceux du haut de la Grosse Couche. Enfin j'ai parlé de la localisation de matière minérale qui se fait dans l'exsudat des grandes fentes.

Les autres matières minérales tardives qui chargent la masse sont de la calcite et de la pyrite.

La calcite se présente sous trois formes : en petits cristaux dans les parties de la gelée brune, qui sont peu déchirées; en cristaux plus grands imparfaits dans les parties de la gelée largement déchirées passées à l'état de réseau fin ou rompues en fils fins ayant laissé sortir un exsudat. Il y a aussi de gros cristaux de calcite beaucoup plus tardifs éparpillés à travers toute la masse.

Les grandes fentes de la roche sont tapissées d'un épais revêtement de calcite.

Outre la pyrite en très petits cristaux uniformément répartie dans la masse il y a de gros cristaux de pyrite

distribués dans les diverses parties de la gelée. Ils sont parfois réunis en masses considérables formant nodules, ailleurs ils sont localisés près de quelques fentes. Ils deviennent particulièrement nombreux dans les filets chargés de débris végétaux très humifiés.

§ VII. — *Conditions géogéniques de la formation des schistes bitumineux de l'Allier.*

1. — Nous retrouvons encore comme condition première de la genèse du schiste bitumineux de l'Allier des eaux brunes laissant précipiter leurs matières humiques.

2. — La matière fondamentale y présentait des variations importantes d'humification d'un point à un autre ; l'humification était plus forte que dans le charbon de Ceara. Elle avait dépassé partout ce stade où elle peut produire des corps jaunes au orangés en présence du bitume.

3. — Les eaux brunes génératrices recevaient ici d'abondantes pluies de soufre qui se sont poursuivies pendant toute la durée de la formation ; le pollen flottant était parfois en telle quantité qu'il se formait des lames de charbon pollinique. Vu la fréquence des sacs mêlés au pollen et vu la variété des éléments polliniques qui révèle trois espèces de Cordaïtes, on est autorisé à dire qu'au voisinage des mares à charbon de l'Allier prospérait une végétation forestière dont les Cordaïtes étaient les principaux représentants. Il s'y mêlait quelques Cryptogames vasculaires.

4. — Au moment de la formation du banc des Têtes-de-Chats les eaux brunes contenaient en suspension une certaine quantité de fragments végétaux humifiés. Les ruisselets d'alimentation apportaient encore quelques parcelles micacées.

5. — L'eau des mares à charbon était sujette à des varia-

tions de dilution. Après une période de concentration qui correspond à la formation de lits de charbon de purin succédait, par une dilution plus forte, une période où les Ostracodes prospéraient et pullulaient. Les reptiles ichthyophages, les pluies de pollen continuaient d'agir comme dans la période précédente. L'apparition des Ostracodes ne correspond donc pas à une modification essentielle des conditions initiales; la gelée et sa charge en matériaux organiques sont seulement plus diluées. A ces périodes de dilution plus forte correspond une minéralisation plus forte du dépôt. Celui-ci devient un schiste organique, la matière minérale étant alors prépondérante sur la matière organique. La masse d'eau nouvelle venue pouvait parfois amener dans la mare des matériaux minéraux clastiques et des fragments végétaux, comme il est arrivé au moment de la formation du lit de grès noir à végétaux.

6. — Ce qui différencie essentiellement les conditions de la formation des schistes de l'Allier de celles des charbons humiques précédemment étudiés c'est qu'il s'est ajouté à l'eau génératrice une forte charge de matières animales d'origine stercoraire éparpillée dans toutes ses parties. La capacité rétentrice de la gelée pour le bitume s'est trouvée, par cette addition, fortement augmentée. Par là le schiste de l'Allier diffère très notablement des charbons humiques purs.

7. — Les nombreux coprolithes des Têtes-de-Chats et des bancs analogues indiquent une population erpétologique et ichthyologique nombreuse et variée vivant très localisée, déversant ses déjections et les reliefs de ses repas dans les mares anthracigènes. Celles-ci deviennent dans les périodes de basses eaux des mares à purin, les coprolithes étant alors en si grande quantité que ceux qui sont demeurés intacts forment de 3 à 7 centièmes de la masse solidifiée. C'est à ces époques

de maximum de concentration qu'a prospéré le *Zoogleites elaverensis*.

8. — Les fleurs d'eau ont été rares pendant toute la formation. Elles sont représentées pourtant même à l'époque où les eaux génératrices sont le plus chargées de produits stercoraires.

9. — La gelée fondamentale faisait prise comme dans les charbons humiques. Les écailles tombées des coprolithes et les parcelles micacées ne s'y enfonçaient point. D'après l'aspect de la gelée non contractée des nodules silicifiés, nous apprenons que la gelée brune tombait sous forme de flocons qui s'agglóméraient souvent autour des parcelles en suspension dans l'eau mère.

10. — Pendant sa contraction la gelée s'est déchirée en réseau. Ces déchirures ont été parfois accompagnées d'exsudats.

11. — La matière organique a été fossilisée en présence d'un bitume tardif.

12. — La minéralisation a été forte. Elle s'est faite par des eaux siliceuses et par des eaux calcaires.

§ VIII. — *Caractéristiques du schiste bitumineux de l'Allier*

1. — Le schiste de l'Allier, dans ses parties les plus riches, est encore de la gelée brune solidifiée en présence d'un bitume. Par là, ces schistes sont intimement liés aux charbons humiques. Ils en diffèrent par une modification du milieu générateur. L'eau brune initiale était chargée en tous ses points de produits stercoraires. Par ce fait, elle était transformée en une sorte de purin. La gelée brune qu'elle a laissé précipiter s'y montre plus fortement humifiée. Sa capacité rétentrice pour le bitume est plus forte.

2. — La minéralisation de la masse a pu se faire très largement. Elle a été ordinairement suffisante pour transformer

le dépôt en schiste organique, la matière minérale y étant prédominante sur la matière organique. La roche se présente donc avec le faciès d'un schiste. Par exception seulement la matière organique est restée prédominante optiquement dans quelques lits. La roche est alors un charbon fortement minéralisé. Dans sa masse se détachent des nodules de *charbon coprolithique.*

3. — La gelée brune reste le corps organique essentiel du dépôt. Elle est fortement chargée de corps accidentels, pollen, menus débris végétaux humifiés, coprolithes, débris animaux isolés. Cette gelée est hétérogène. Elle n'a pas donné de corps jaunes.

4. — La gelée fondamentale a fait prise. Les parcelles micacées, les menus débris végétaux humifiés, les coprolithes, les écailles et les os tombés des coprolithes ne s'y enfonçaient pas. Ces corps y sont couchés à plat. Parfois les os et les écailles sont piqués dans la gelée verticalement ou obliquement et ils ont été maintenus dans cette position par la rigidité de la matière fondamentale.

5. — Lors du retrait, la gelée ne s'est pas coupée par de grandes fentes. Elle s'est déchirée irrégulièrement en un réticulum. Là où ses déchirures sont le plus étendues il y a un exsudat qui se montre à l'état de pureté dans les plus grandes fentes. Celles-ci sont horizontales.

6. — La contraction verticale de la gelée a été particulièrement forte, 12 par rapport au pollen étalé des nodules siliceux, 2 par rapport aux coprolithes, 4.5 par rapport à l'épaisseur totale d'un nodule siliceux. Ces nombres sont insuffisants pour rendre compte de la quantité des matières hydrocarbonées trouvées dans la masse. Elle a subi un enrichissement par des matières bitumineuses venues du dehors.

7. — Les corps accidentels de cette gelée brune sont le pollen, quelques rares spores, de menus débris humifiés, des

coprolithes entiers et éparpillés, des fragments animaux. Il s'y rencontre aussi quelques thalles de fleurs d'eau gélosiques. Au moment où l'eau génératrice a présenté son maximum de concentration, il s'y est ajouté quelques thalles de *Zoogleites elaverensis*. Le pollen très abondant provient de plusieurs espèces de Cordaïtes. Sa présence dans les nodules siliceux fournit un bon caractère pour diagnostiquer le schiste de l'Allier. Zoogleites donne également un bon élément de diagnostic pour le banc des Têtes-de-Chats. Les coprolithes proviennent de reptiles ichthyophages. Ils forment jusqu'à 3 et 7 centièmes de la masse du schiste.

8. — Les coquilles d'Ostracodes ne se montrent que dans les parties où les matériaux accidentels sont beaucoup plus dilués. La gelée brune y est aussi moins colorée. Il s'agit de régions plus diluées. Ces régions ont été très fortement minéralisées.

9. — La charge de la gelée brune en bactérioïdes est très forte. Ces corps y sont bullaires. Dans les parties moins foncées ils se détachent en clair sur le fond coloré. Ils sont uniformément répartis dans l'exsudat des grandes fentes horizontales. Les corps bactérioïdes sont représentés par des micrococcoïdes, par des macrococcoïdes et par des bacilloïdes.

10. — Il n'y a ni Diatomées, ni spicules, ni fragments résineux.

11. — La masse a subi une imprégnation bitumineuse qui l'a enrichie en hydrocarbures. Le bitume est arrivé tout formé. Il a pénétré par diffusion. C'est un bitume brun noir que l'on voit libre dans les cavités des os. Il a été fortement retenu par la gelée fondamentale, par les menus débris végétaux humifiés qui sont transformés en lames de charbon brillant. Ce bitume a été aussi fortement localisé par les coprolithes, par les protoplastes et par les corps osseux. Les coprolithes ont donné des nodules ou des plaquettes de charbon animal.

L'intervention tardive de ce bitume est établie par sa présence dans les fissures tardives des nodules siliceux. Les masses bitumineuses libres ont une structure réticulée qui me paraît inorganique.

12. — Le schiste de l'Allier ne présente pas de cristaux d'argile tardivement individualisée. — Il a été minéralisé par de la silice, de la calcite et de la pyrite. La localisation de la silice a été particulièrement forte et hâtive en quelques points du dépôt, vers le haut de la Grosse Couche par exemple.

13. — Les corps jaunes de ce charbon ont été produits par les parois des grains de pollen, par les parois des spores, par la gélose des thalles et par le tissu osseux.

14. — Le schiste bitumineux de l'Allier ne peut plus être rangé dans les charbons humiques où la matière brune intervient à l'état de pureté. Cette matière est additionnée ici d'une notable quantité de matières animales, en particulier de produits stercoraires qui modifient profondément ses propriétés, en particulier sa capacité rétentrice du bitume. J'estime qu'il faut établir, pour les charbons de cette sorte, une catégorie distincte des charbons humiques. Je désigne ce nouveau groupe de charbons par un caractère tiré de leur eau génératrice qui rappelait nos purins. Ce sont les *charbons de purins*.

CHAPITRE V

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les quatre exemples dont je viens de tracer les monographies me permettent de poser les conclusions générales suivantes :

1. — Il existe une classe de charbons organiques amorphes produits par des accumulations de gelée brune humique solidifiée et fossilisée en présence de bitumes. Je propose de les distinguer des autres charbons en les désignant sous le nom de *charbons humiques*. Ces charbons correspondent à peu près aux *schistes bitumineux de l'Industrie*, comme les *charbons d'algues* ou *charbons gélosiques* correspondent aux *bogheads*.

2. — La gelée brune des charbons humiques est la même matière que celle qui forme la trame fondamentale des *schistes organiques*. Dans les charbons humiques la gelée brune est la matière dominante ; c'est elle qui donne à la roche ses caractéristiques essentielles au moins optiquement. Dans les schistes organiques la gelée brune plus ou moins raréfiée et déchirée est subordonnée à la matière minérale et c'est cette dernière qui donne à la roche ses principales caractéristiques optiques.

3. — Les charbons humiques conservent le faciès macroscopique de charbon toutes les fois que la localisation élective des matières minérales sur la gelée brune n'a pu s'exercer que faiblement. Quand, au contraire, cette localisation a pu s'exercer librement, la roche charbonneuse prend l'aspect schisteux.

4. — Les charbons humiques apparaissent ainsi comme

de simples incidents au cours de formations schisteuses. Le dépôt plus abondant de gelée brune indique dans les quatre exemples analysés un amoindrissement dans l'arrivée des eaux d'alimentation des bassins et par suite des périodes de sécheresse relative. Cette conclusion est contrôlée par la constatation d'une plus grande abondance des pluies de pollen aux mêmes périodes.

5. — La gelée des charbons humiques est aussi la même matière que celle qui forme la trame des *bogheads*, des *charbons sporo-polliniques* et des *charbons de menus débris*, c'est-à-dire des *charbons à corps accidentels dominants*. Les charbons humiques sont donc les charbons les plus simples qui se puissent produire au cours d'une formation schisteuse. Ils relient d'une part les schistes organiques aux charbons organiques. D'autre part ils sont le fond commun dans lequel s'accumulent les corps caractéristiques des divers types de charbons à corps accidentels dominants.

6. — En nous apprenant à lire quelques-unes des qualités de la gelée fondamentale commune à divers types de charbons organiques, les charbons humiques nous permettent d'apprécier les conditions initiales nécessaires à la formation de ces charbons.

7. — Je ne puis dire si la gelée brune est d'origine bactérienne. Elle apparaît comme un précipité amorphe qui a fait prise. Il ne m'a pas été possible de résoudre la gelée contractée et solidifiée en organismes figurés. D'autre part les nodules siliceux m'ont montré cette matière comme une substance amorphe en flocons grumeleux (1). — Selon son degré de dilution, la gelée brune s'est diversement déchirée pendant la prise

(1) Si l'on parvient à établir d'une façon complètement satisfaisante que les corps bactérioïdes de la gelée brune sont généralement des restes laissés par la fossilisation d'organismes bactériens, comme le pense mon savant ami M. B. Renault, il deviendrait très probable que la gelée brune doit son origine à l'activité bactérienne.

et le retrait. Diluée comme dans le schiste du Bois d'Asson, la gelée a pris, en se coagulant, une structure réticulée. En se contractant elle s'est déchirée. Il s'y est fait des fentes horizontales qui sont comblées par un exsudat. Lorsqu'elle était plus consistante comme dans le Brown Oilshale de Broxburn, la gelée brune s'est coupée par de grandes fentes obliques, ses morceaux ont glissé les uns sur les autres et la matière présente une structure en stratification disloquée ; le retrait et le tassement qui a suivi suffisent à rendre compte de cette structure spéciale de la roche. La structure réticulée est de beaucoup la plus répandue. Elle se retrouve dans la plupart des schistes organiques alors même que la matière organique y est extrêmement réduite, telle est par exemple le cas de nos schistes gris ordinaires des terrains houillers du Nord et du Pas-de-Calais.

8. — La gelée fondamentale est chargée de corps bactérioïdes ; sa charge en bactérioïdes augmente généralement lorsque les menus débris végétaux humifiés sont plus fréquents. Ces corps bactérioïdes ressemblent beaucoup à des spores de bactéries. Il ne m'a pas été possible toutefois de reconnaître avec certitude la nature de ces corps ni même de décider si nous sommes en présence des restes d'organismes figurés ou d'inclusions inorganiques. Les bactérioïdes semblent faire partie normalement de la gelée fondamentale bien plutôt que d'y avoir été ajoutés après coup ; ils paraissent aussi avoir été entraînés dans les exsudats de remplissage à la manière des corps légers. Ces arguments indirects et beaucoup d'autres sont favorables à la notion de restes d'organismes bactériens. Toutefois il y a de très grandes différences entre l'état de ces corps bactérioïdes et celui des bactéries saisies vivantes dans le même milieu. Dans les bactéries coprophiles et aussi dans un organisme voisin, le *Zoogleites*

elaverensis, la présence des protoplastes fixés est indiquée par la localisation du bitume.

9. — La gelée fondamentale localise normalement l'argile par action élective. Cette matière s'y individualise parfois en cristaux tardifs. La localisation élective de la pyrite dans la gelée brune est beaucoup moins nette, elle dépend peut-être des matières ajoutées à la gelée fondamentale ou de variantes secondaires de la composition de celle-ci, par exemple d'une addition de produits sulfurés.

10. — Convenablement modifiée, la gelée brune localise la silice et détermine la formation de nodules comme ceux qui sont à la partie supérieure de la Grosse Couche de Buxière.

11. — Les exsudats tardifs localisent les matières minérales, telle est la localisation de la calcite dans l'exsudat du schiste du Bois d'Asson. Les cristaux tardifs sont très régulièrement alignés dans ces exsudats.

12. — Le degré d'humification (ou de condensation humique) de la gelée brune présente de notables variations dans les exemples que j'ai analysés. Quand l'humification a été très faible comme dans certains filets du Brown Oilshale de Broxburn, la gelée fondamentale a été transformée pendant sa fossilisation en présence du bitume en corps jaunes amorphes. Le bitume n'y a donc pas été retenu tout entier. Cette transformation rappelle plutôt la localisation élective des carbures éclairants par les membranes gélosiques. Quand l'humification est plus forte, le bitume complet est retenu dans la gelée par une action élective, véritable fixation, qui est de plus en plus intense à mesure que l'humification s'accentue. La gelée fondamentale donne ainsi des filets charbonneux de plus en plus fortement colorés en rouge brun. La contraction de la gelée est d'autant plus forte qu'elle a plus énergiquement retenu le bitume. C'est la gelée du schiste de l'Allier qui nous a présenté la plus forte contraction.

13. — Les contractions relevées pour la gelée brune dans les charbons humiques ne suffisent pas à rendre compte de la teneur de ces roches en matières hydrocarbonées. Ces gelées humiques ont été soumises à un enrichissement en hydrocarbures. Elles ont subi des imprégnations bitumineuses. Les bitumes y sont arrivés tout formés car on ne voit nulle part dans ces roches la production de bitumes aux dépens des matières organiques. Dans presque tous ces exemples les matières bitumineuses ont pénétré la masse par diffusion. Elles y sont retenues électivement par quelques parties de la gelée fondamentale, par les fragments végétaux convenablement humifiés, par les protoplastes, par le tissu osseux et par les coprolithes. Les carbures éclairants sont retenus de même par les membranes gélosiques et cellulosiques non humifiées. La gelée humique et les corps accidentels qu'elle contient donnent des masses de charbon parce qu'ils sont des substratum de bitumes ou d'hydrocarbures éclairants. Dans le schiste du Bois d'Asson le bitume particulièrement figeable a pénétré de bonne heure à l'état de gouttelettes minuscules qui ont été retenues mécaniquement dans la gelée humique injectée.

14. — Dans ce milieu de gelée brune se fossilisant en présence de bitume il se fait normalement des corps jaunes très variés, des charbons brillants et des fusains, c'est-à-dire les principales variétés de charbons qu'on rencontre associées dans les houilles. Il peut s'y produire aussi des charbons d'os et des charbons de coprolithes. Chaque corps organique suivant sa nature et son degré d'altération retient soit le bitume entier soit quelques-uns de ses éléments. J'ai cité comme exemples extrêmes la rétention du bitume par le bois humifié et par les coprolithes et d'autre part la localisation des carbures éclairants sur les membranes gélosiques non humifiées.

15. — Les corps jaunes des charbons humiques sont fournis par les membranes végétales gélosiques et cellulosiques macé-

rées mais non humifiées, par les corps résineux, et par les fragments osseux. Ils peuvent provenir des parties les moins humifiées de la gélée fondamentale. Il peut s'y ajouter des corps jaunes inorganiques des infiltrations tardives.

16. — Les bitumes qui sont intervenus dans les divers charbons humiques que j'ai analysés ne sont pas identiques. Celui du Brown Oilshale est le moins coloré. Il est rouge brun très pâle. Il est craquelé. Celui du schiste de l'Allier est coloré en brun noir et il se contracte en réticulum dans les cavités où il est libre. Celui du schiste du Bois d'Asson a été particulièrement figeable. Ces variations des bitumes imprégnants nous font prévoir des variations étendues dans les qualités des charbons dont ils ont provoqué la formation. Le charbon sera gras ou anthracique selon que le bitume imprégnant sera lui-même riche en hydrogène, à la manière des asphaltes, ou très riche en carbone à la manière des perles anthracitiques des fissures du calcaire de Visé.

17. — Dans ce milieu de gelée humique se fossilisant en présence de bitumes, la conservation des corps organisés qui y sont accidentellement enfouis est parfaite. Les corps y ont été fixés dans leurs divers états d'altération et rendus imputrescibles, absolument comme dans les fixations que nous essayons de faire sur les matériaux qui doivent servir aux études histologiques des plantes actuelles.

18. — Les accumulations de gelée brune qui forment les charbons humiques impliquent comme conditions géogéniques initiales des eaux génératrices brunes chargées de matières humiques qu'elles laissaient précipiter facilement dans des mares parfaitement tranquilles. Les seuls matériaux clastiques de nature minérale que nous y ayons constatés sont les parcelles de mica du schiste de l'Allier. Pendant ces périodes de tranquillité, la surface des eaux brunes recevait des pluies de pollen venant de la végétation forestière voisine. Dans les

exemples que j'ai analysés je n'ai pas constaté l'existence d'une végétation de fond.

19. — Le Brown Oilshale de Broxburn nous présente le plus pur des charbons humiques, mais avec leur faciès macroscopique schisteux. Le charbon de Ceara, qui peut servir de transition entre les charbons humiques et les charbons de purins, nous présente les charbons humiques avec leur faciès de charbon. Le schiste du Bois d'Asson nous montre comment se fait la transition des charbons humiques aux charbons gélosiques et aux charbons polliniques.

20. — Il existe des charbons de purins.

21. — Ils se sont formés dans des conditions géogéniques très peu différentes de celles des charbons humiques. Pour donner les charbons de purins, la gelée humique des eaux brunes authracigènes s'est précipitée dans un milieu additionné de matières stercoraires dans toutes ses parties. La gelée brune fortement humifiée a acquis par cette addition une capacité de rétention du bitume plus grande. Elle est par suite fortement colorée en rouge-brun foncé et fortement contractée. Cet accroissement de la capacité rétentrice de la gelée fondamentale pour le bitume suffit à différencier les charbons de purins des charbons humiques. Il y a naturellement des transitions entre ces deux classes de charbons.

22. — Les charbons de purins sont fortement chargés de coprolithes entiers et éparpillés. Ils contiennent de nombreuses écailles tombées des coprolithes. Ils passent aux schistes à Ostracodes toutes les fois que l'eau brune génératrice se dilue suffisamment par addition d'*eaux ordinaires*.

23. — Les régions des charbons de purins qui correspondent à la plus grande concentration des eaux génératrices peuvent présenter des organismes spéciaux comme le *Zoogleites elaverensis*.

24. — Les diverses variétés de charbons dont j'ai constaté

la production dans les charbons humiques se forment également dans les charbons de purins. On y relève aussi des indices très nets de fixation des éléments des corps organisés. Les bols alimentaires des coprolithes sont fixés. Les bactéries coprophiles sont fixées dans le mucus des coprolithes et dans les canalicules osseux. Zoogleites est fixé dans la gelée fondamentale.

25. — Les couches les plus riches des gisements de Buxière et de Saint-Hilaire peuvent servir de type à cette classe de charbon.

26. — Les charbons humiques et les charbons de purins que j'ai étudiés sont des formations d'eau douce. Ces formations se présentent avec les mêmes caractères essentiels des temps carbonifères à l'époque oligocène. D'après les exemples cités on voit que les charbons humiques et les charbons de purins sont très répandus.

CHAPITRE VI

NOTES COMPLÉMENTAIRES

SOMMAIRE :

§ I. — Description de l'Epipolaïa Boweri. C. E. B.
§ II. — Description du Botryococcites Largæ. C. E. B.
§ III. — Description du Zoogleites elaverensis. C. E B.
§ IV. — Le Bacille du mucus intestinal dans les coprolithes du schiste de l'Allier. — Le Micrococcus lepidophagus. B. R.
§ V. — Le Tenuicutites chytridiæformis. C. E. B.
§ VI — Note sur la nature des corps bactérioïdes de la gelée fondamentale.

§ I. — *Description de l'Epipolaïa Boweri. C. E. B.*

Thalles arrondis, irréguliers, mamelonnés, de dimensions très variables. Les petits thalles sont très plats et rendus presque discoïdes par affaissement. Ils mesurent environ 70 μ sur le grand diamètre horizontal, 50 μ sur le petit et 10 μ d'épaisseur. Leur section méridienne est une ellipse très déprimée dont les extrémités du grand axe sont amincies (fig. 121, Pl. XI). La section équatoriale est limitée par une courbe convexe irrégulière. Le port de ces petits thalles rappelle l'attitude affaissée des *Botryococcites*. Les gros thalles couchés dans la gelée humique consistante ont également une attitude très affaissée. Ils sont cérébriformes, leur aspect rappelle plutôt celui des *Reinschia*. Ces gros thalles mesurent jusqu'à 240 μ sur le grand diamètre horizontal, 200 μ sur le

petit diamètre et 40 μ d'épaisseur (fig. 119, Pl. XI). La section méridienne de ces grands thalles présente des plis ou sinus, leur section équatoriale est très irrégulière. Les thalles sont dépourvus d'organe de fixation. Ce caractère, joint à leur forme et à leur structure rayonnée, indique des algues flottantes.

Les petits thalles sont pleins. Les plus gros ont parfois l'indication d'une petite cavité centrale (fig. 120, Pl. XI).

Ces thalles ne comprennent que des cellules toutes semblables. Elles ont à peu près les mêmes dimensions sur les grands et sur les petits thalles. Les cellules sont ovoïdes à parois épaisses, blanches, très molles si l'on en juge par leur aspect affaissé. Elles ne sont pas rapprochées en îlots ou en lobules. On ne voit pas de gelée interposée entre ces organites. Elles ne sont pas limitées par une lame mitoyenne différenciée comme dans le genre *Pila*. Les dimensions moyennes de cette cellule sont :

Diamètre de l'extrémité renflée de l'ovoïde . 4 à 6 μ.
Longueur de la cellule. . . . . 10 μ.
Epaisseur de la paroi cellulaire . . . . . 2 à 3 μ.

Le corps protoplasmique paraît petit, ovoïde, renflé vers l'extérieur.

Les éléments cellulaires de l'Epipolaïa sont disposés radialement autour de son centre de figure, le gros bout de l'ovoïde cellulaire étant tourné vers l'extérieur et formant saillie à la surface du thalle. Toutes les sections présentent des chevauchements de cellules qui masquent plus ou moins complètement l'arrangement radié. Dans les sections verticales des parties minces les cellules sont placées sur un seul rang au pourtour de la section (fig. 121, Pl. XI). Sur les sections verticales des parties plus épaisses, il y a des cellules centrales entourées de cellules périphériques. Tandis que les cellules centrales sont coupées transversalement, les cellules périphériques placées aux

deux extrémités du diamètre horizontal sont coupées très obliquement (fig. 123, Pl. XI). On ne voit presque jamais de cellules coupées axialement s'avançant jusqu'auprès du centre (fig. 124, Pl. XI).

De même que *Reinschia*, *Pila* et *Botryococcites* le genre *Epipolaïa* est une algue flottante rayonnée. Bien que ce nouveau genre n'ait pas de caractères propres tranchés, l'Epipolaïa ne peut rentrer dans les trois genres précités. Il diffère de *Botryococcites* par la disposition plus uniforme de ses éléments cellulaires qui ne sont pas groupés en îlots. Il n'a pas non plus de gelée interposée entre ceux-ci. Epipolaïa diffère de *Pila* par l'absence de lamelle moyenne différenciée entre les cellules et par les chevauchements de celles-ci. Enfin Epipolaïa n'a pas les cellules en forme de larmes des *Reinschia*. Il n'a pas non plus leur mode de groupement, je n'y ai pas reconnu de cénobies. *Epipolaïa Boweri* ne peut donc rentrer dans aucun de ces trois genres. Il convient de former avec cette plante un nouveau genre qui est défini par rapport à ceux que j'ai nommés par ses caractères négatifs.

De même que *Reinschia australis*, l'*Epipolaïa Boweri* présente des thalles altérés, gommifiés avant leur enfouissement. Certains ont même pris l'aspect résinoïde. Dans ces derniers la structure cellulaire a complètement disparu, ils sont creusés de canaux (fig. 125, Pl. XI). Les thalles gommifiés et résinoïdes sont plus fortement colorés que les autres, ils ont condensé plus fortement la matière bitumineuse.

En l'absence d'organes disséminateurs et d'organes sexuels il ne m'est pas possible d'indiquer la position du genre Epipolaïa dans la Classification.

Habitat. — Les eaux brunes.

Gisement. — Brown Oilshale permo-carbonifère de la région de Broxburn (Ecosse).

§ II. — *Description du Botryococcites Largæ* C. E. B.

Thalles arrondis, irréguliers, mamelonnés, de dimensions variables. Les thalles moyens mesurent à peu près 96 μ sur leur grand diamètre horizontal, 80 μ sur le petit et 16 μ d'épaisseur. Leur section méridienne est une ellipse déprimée, irrégulière, leur section équatoriale est limitée par une courbe convexe irrégulière (fig. 127 et 128, Pl. XI). Le contour des gros thalles est plus irrégulier, celui qui a été représenté fig. 129, Pl. XI, mesurait 336 μ de longueur sur 40 μ d'épaisseur. Celui de la fig. 130, Pl. XI, avait 115 μ de long sur 25 μ d'épaisseur. Tous ces thalles ont une attitude affaissée. Ils n'ont pas d'organe de fixation. Ils sont généralement solitaires.

Ces thalles sont pleins. Je n'ai pas vu de cavité centrale ouverte, même dans les plus gros thalles.

Ces thalles ne comprennent que des cellules toutes semblables qui ont sensiblement les mêmes dimensions sur les grands et sur les petits thalles. Ceci revient à dire que la plante n'a pas de cénobies. Les cellules sont ovoïdes, effilées, à parois épaisses, blanches et molles. Elles sont très affaissées. Par tous ces caractères le *Botryococcites* ressemble beaucoup à l'Epipolaïa, mais chez le *Botryococcites* il y a une gelée très nette interposée entre les éléments cellulaires et ceux-ci sont groupés en îlots. La gelée interposée entre les cellules se détache comme une lame jaune plus foncée d'épaisseur variable qui se ramifie entre les groupes cellulaires. Très épaisse vers le centre de la section, elle s'amincit vers la périphérie entre les groupes cellulaires. On voit la disposition de cette gelée sur les figures 130, 131, Pl. XI. Cette gelée est toujours plus facilement visible sur les coupes verticales que sur les coupes horizontales. La coloration plus forte de la gelée intercellulaire

indique une légére différence de composition chimique entre cette matière et la substance blanche des parois cellulaires propres.

Les mailles dessinées par la gelée du thalle sont occupées par des groupes de cellules affaissées. L'îlot peut se réduire à une seule cellule. Il en comprend ordinairement plusieurs. La plupart sont coupées obliquement. Leur paroi propre n'est pas striée. En coupe verticale les masses protoplasmiques sont indiquées par un trait faiblement coloré en brun, ou comme un corps bullaire. Je ne puis dire si cette masse protoplasmique contient ou non un noyau différencié (fig. 131, Pl. XI).

Les dimensions des cellules du *Botryococcites* sont de 4 à 6 μ comme diamètre, dans la partie renflée de l'ovoïde, sur 11 à 13 μ de longueur. L'épaisseur de la paroi cellulaire est de 2 μ. — Le corps protoplasmique était ovoïde renflé vers l'extérieur, très petit (1).

Les éléments cellulaires du *Botryococcites* sont disposés à peu près radialement, mais grâce à la gelée intermédiaire et aux chevauchements, ce n'est là qu'une direction générale des éléments.

A l'inverse de l'*Epipolaïa,* le genre *Botryococcites* est défini par des caractères positifs très nets, ce sont sa gelée intercellulaire et son groupement de cellules en îlots. L'absence de cénobies, la forme des cellules, et l'absence de cavité centrale le distinguent encore des *Reinschia*. L'absence d'une lame moyenne rigide autour des cellules le distingue du genre *Pila*. — Des cellules oviformes, noyées dans une gelée très nette où elles sont groupées, rappellent un peu les caractères des *Botryococcus Braunii*, qui est l'algue flottante du Lac de Genève. Sans prétendre que *Botryococcites* ait des affinités familiales avec le genre actuel *Botryococcus*, j'ai cru devoir

(1) La section transversale de cette cellule est une ellipse plus déprimée que celle de l'*Epipolaïa*.

rappeler ces quelques traits de ressemblance dans le nom que j'ai assigné à la plante fossile.

Botryococcites était une algue libre et flottante. J'ai observé quelques thalles gommifiés, où la structure était très effacée, aucun n'avait atteint le faciès résinoïde. Dans un assez grand nombre de *Botryococcites* il y avait des corps bactérioïdes. Je n'ai pas vu de thalles canaliculés comme ceux du *Reinschia*.

Sur les seuls caractères que nous connaissions, je ne puis indiquer la position du *Botryococcites* dans la Classification.

Habitat. — Les eaux brunes.

Gisement. — Le schiste bitumineux oligocène du Bois d'Asson.

§ III. — *Description du Zoogleites elaverensis* C. E. B.

Petits thalles arrondis discoïdes à contour irrégulier de taille très variable. Leur aspect est celui d'une zooglée bactérienne dont les cellules sphériques seraient noyées dans une gelée très consistante. La section verticale du thalle est une ellipse régulière très déprimée, mais peu affaissée (fig. 107, Pl. X, et fig. 133, Pl. XI). La section horizontale est limitée par un contour irrégulier (fig. 134, Pl. XI).

Le thalle comprend une gelée générale homogène brun clair très résistante. Cette gelée est nettement différente de la gélose qui forme les parois cellulaires des Reinschias et des Pilas. Elle est différente aussi de la gelée qui sépare les cellules du Botryococcites. Cette gelée n'est pas, en effet, transformée en corps jaune. Il y a là une différence chimique analogue à celle que nous constatons actuellement entre la gelée d'un Chaetophora et celle d'une zooglée bactérienne. Les éléments cellulaires du thalle sont noyés dans cette gelée. Ils y sont uniformément répartis et nettement isolés les uns des autres.

Tout autour du thalle la gelée générale forme une zone continue sans cellules. Chaque cellule est une sphère homogène, brun-foncé, dans laquelle je n'ai pu reconnaître de noyau ou de paroi propre. Le corps cellulaire bien délimité a fortement condensé le bitume et s'est coloré en brun. S'il s'agit là de cellules bactériennes leurs parois sont colorées comme les protoplastes, et dans les dimensions indiquées ci-dessous, la paroi est comprise avec le protoplaste dans les dimensions données pour l'élément cellulaire. Je n'ai pas vu de cellules en division ni de sphérules brillants pouvant faire croire à la formation de spores endogènes. Les cellules sont nombreuses dans chaque thalle. Leur nombre varie beaucoup d'un thalle à l'autre, elles sont à peu près également éloignées en tous sens. Le thalle était plein, comme on le voit nettement sur les coupes. Les cellules ont le même calibre dans les gros et dans les petits thalles.

J'ai noté comme dimensions :

Longueur du thalle	45 μ
Largeur du thalle	36 μ
Epaisseur du thalle	20 μ
Diamètre des cellules	1 μ à 1 μ 2
Distance des centres des cellules voisines.	3 μ

D'après le faciès du thalle, d'après la nature de la gelée qui sépare ses cellules et d'après l'habitat de la plante, il me semble que les affinités du Zoogleites sont plutôt vers les Bactéries. En lui assignant le nom de Zoogleites j'ai plus en vue de rappeler sa forme que ses affinités, car il se pourrait aussi qu'on fût en présence d'une Cyanophycée très inférieure comme celle qui a été récemment décrite par M. E. Roze. Zoogleites diffère profondément des Bactéries en zooglée qui forment un voile gélatineux à la surface des infusions étendues de crottin de cheval, de bouse de vache et de fiente de canard.

Habitat. — Infusion concentrée de pollen et de crottes de reptiles ichthyophages dans l'eau brune.

Gisements. — Le schiste des Têtes-de-Chats, à Buxière, Allier. — Le faux boghead d'en haut, au puits des Telots, Autun. — Terrain permien.

§ IV. — *Le Bacille du mucus intestinal dans les coprolithes du schiste de l'Allier. Le Micrococcus lepidophagus.*

J'ai rencontré assez fréquemment dans le mucus intestinal, qui agglutine les bols alimentaires de certains coprolithes des schistes de l'Allier, une grosse Bactérie en forme de Bacille très nettement caractérisée (fig. 109, Pl. X). L'être consiste en bâtonnets droits rigides, arrondis aux deux bouts (fig. 139, Pl. XI). Chaque élément cellulaire mesure de 6 à 8 μ de long sur 1 μ 2 à 1 μ 5 de large. En tenant compte du retrait subi par ces organismes, les dimensions ci-dessus sont considérables et peut-être y aura-t-il lieu de rechercher si chaque article bacillaire ne se dédouble pas en deux dans sa longueur. Il semble bien, en effet, que dans les longs éléments attachés en chaînettes les cellules sont ou un peu plus courtes ou étranglées au milieu. Les éléments de ce bacille sont isolés, ou bien réunis deux à deux, plus rarement unis en chaînettes ayant plus de quatre éléments. Je n'ai pas vu les chaînettes se contourner. Ces corps sont teints en brun foncé dans toute leur épaisseur, comme on peut s'en rendre compte sur leur section transversale. Les préparations montrent en effet d'assez fréquents exemples de ces sections. Je n'ai pu distinguer dans ces bacilles un corps nucléaire ni une paroi. Ils paraissent homogènes et uniformément colorés à la manière des Bactéries actuelles traitées au violet de gentiane. L'attitude de ces corps dans le mucus est bien celle de Bactéries. Grâce à leur colo-

ration foncée, ils se détachent très nettement du mucus. Ils sont localisés dans le mucus. Ils ne pénètrent pas dans les bols alimentaires à l'encontre des bacilles coprophiles de l'Autunois et de Commentry. L'aspect de ces éléments bacillaires de l'Allier est celui d'une culture bactérienne en pleine prospérité qu'on fixe brusquement par l'eau iodée.

J'ai reconnu d'abord ces bacilles dans les coprolithes de la couche de Taille. Je les ai trouvés depuis dans le lit des Têtes-de-Chats. Ils ne sont pas particuliers à une zone schisteuse mais bien à une sorte de coprolithes. Tous les coprolithes de cette sorte n'en contiennent pas. Un coprolithe sur trois ou quatre présente ces organismes. Ils ne peuvent être confondus avec les éléments cellulaires d'un *Mucedites* ; ces petits champignons ont un autre port et leurs cellules ont une paroi propre très différente de leur protoplaste. On rencontre parfois des Mucedites dans les coprolithes des schistes de l'Allier

Habitat. — Mucus intestinal des coprolithes de reptiles ichthyophages.

Gisement. — Schistes bitumineux permiens de l'Allier, Buxière et St-Hilaire.

On rencontre très fréquemment dans les canalicules osseux des écailles ganoïdes de Buxière et de St-Hilaire de fines granulations brunes assez régulièrement alignées. A un faible grossissement le canalicule paraît alors ponctué (fig. 110, Pl. X); les corps sphériques plus petits que le diamètre du canalicule (fig. 111, Pl. X) sont à peu près également espacés (fig. 134, Pl. XI). Ils sont localisés dans les parties des canalicules osseux les plus éloignés de la masse protoplasmique centrale. *Je ne les ai pas vu remplir la cavité cellulaire centrale ni les parties des canalicules qui avoisinent cette cavité.* Ces granulations sont brunes, uniformément colorées,

les protoplastes n'y sont pas distincts des parois. Je n'y ai pas trouvé de spores brillantes mêlées aux sphères teintées par le bitume ; ces corps mesurent o μ 7 à 1 μ ; ces sphérules bruns me paraissent répondre à une forme du *Micrococcus lepidophagus* que M. B. Renault a signalé dans les canalicules osseux. Je les désignerai sous le nom qu'il leur a assigné. L'absence constante de microcoques dans la cavité centrale occupée par le corps cellulaire me paraît pourtant difficile à concilier avec la fréquence des sphéroïdes bruns constatés dans les canalicules osseux. Le corps brun qui occupe la cavité centrale n'étant jamais réticulé et paraissant teint par élection, je ne puis admettre qu'il s'agisse là d'une fine injection de bitume prenant la forme sphérulaire dans les fins canalicules. Si l'on avait affaire à une injection fine, il y aurait certainement par ci par là des bâtonnets cylindriques dans ces canalicules. Sur des coupes telles que celles de la fig. 137, Pl. XI, il semble bien plus probable que nous avons affaire là à un Microcoque. Je n'ai pas vu de sphérules bruns dans les trous plus ou moins nombreux qui taraudent les plaques d'émail des mêmes écailles.

§ V. — *Le Tenuicutites chytridiæformis* C. E. B.

Organisme végétal unicellulaire fixé. Ce corps est presque sphérique avec un léger amincissement du côté du point d'attache. Il n'a pas pourtant de cône perforant net. Le port est celui d'un Chytridiacée (fig. 118, Pl. X). Ses dimensions sont :

Distance du point d'attache au sommet, 13 μ (fig. 140 A, Pl. XI).

Grand diamètre de l'organisme vu d'en haut, 12 μ (fig. 140 B, Pl. XI).

Petit diamètre de l'organisme vu d'en haut, 10 μ (fig. 140 B, Pl. XI).

La membrane est extrêmement mince. Le nom de la plante rappelle ce caractère.

Le protoplasma, finement granuleux, montre de grandes vacuoles. Il contient un seul noyau en forme de lenticule épais riche en matière chromatique, car il est beaucoup plus fortement coloré par le bitume que le protoplasme. Les dimensions de ce noyau sont (fig. 140, Pl. XI) :

Longueur	5 μ 8.
Largeur	4 μ 2.
Épaisseur	2 μ 5.

Ce noyau paraît avoir été limité par une membrane nucléaire. Il est généralement placé vers le haut de la cellule.

Bien que le port et l'habitat de la plante semblent indiquer un organisme chytridiacéen, je crois que son gros noyau unique, si nettement différencié, écarte le Tenuicutites des Chytridiacées (1). En l'absence d'organes disséminateurs et reproducteurs je ne puis indiquer d'autres rapprochements qui soient justifiés.

Habitat. — Dans la chambre à air de grains de pollen de Cordaïtes macérés. Ils sont le plus ordinairement fixés sur la partie libre de l'intine.

Gisement. — Dans les nodules siliceux qui sont à la partie supérieure de la Grosse Couche, Puits du Méglin, Buxière.

(1) Le Tenuicutites ne peut rentrer dans l'Oochytrium Lepidodendri de M. B. Renault, qui est pourvu de filaments radicants, ni dans les organismes que mon savant ami a rapportés aux Chytridiacées dans la Flore fossile d'Autun et d'Epinac.

§ VI. — *Note sur la nature des corps bactérioïdes de la gelée fondamentale.*

Les corps bactérioïdes étant un des caractères constants de la gelée fondamentale des charbons humiques, j'ai naturellement consacré beaucoup de temps à leur étude et j'ai tenté, pour chaque exemple, de déterminer directement leur nature. Dans ce qui précède on a vu, par l'insuccès de ces tentatives, que je ne suis pas parvenu à me faire une idée de leur nature. Mon savant ami, M. B. Renault, dans l'étude de ces mêmes documents et d'autres échantillons analogues, a peut-être été plus heureux que moi. Il croit pouvoir affirmer que ces corps bactérioïdes sont les restes fossilisés d'organismes bactériens. J'ai déjà fait remarquer que si ce résultat très remarquable était définitivement acquis, la gelée brune fondamentale serait très probablement due au travail d'organismes bactériens.

L'opinion de notre grand paléobotaniste du Muséum paraît justifiée par les raisons suivantes :

1. — Très souvent l'aspect des corps coccoïdes est si semblable à celui des spores de nos Bactéries que cette identification vient de suite à l'esprit. De même que nous avons reconnu le *Bacillus permiensis* et le Bacille du mucus intestinal des coprolithes de Buxière à leur port; de même aussi qu'un botaniste herborisant reconnaît à distance une plante peu commune à son attitude, de même dans le faciès de ces corps brillants on retrouve si souvent l'aspect des spores de Bactéries qu'on comprend l'attribution qui en a été faite.

2. — Même en admettant que les corps coccoïdes aient subi un retrait linéaire de 2 à 2,5, leur taille n'est pas incompatible avec celle des spores bactériennes.

3. — Les corps coccoïdes ont souvent une taille remarquablement uniforme, ce qui est peu ordinaire d'une façon aussi régulière lorsqu'il s'agit de sphérules inorganiques, microcristaux, gouttelettes et bulles. Les bulles, les gouttelettes et les microcristaux des bitumes et des résines ordinaires n'ont pas cette régularité.

4. — Les corps bactérioïdes ont été rencontrés à l'état de cultures pures dans la couche muqueuse de l'*Epipolaïa Boweri*, à peu près comme nos Bactéries actuelles sont souvent à l'état de cultures très pures entre les replis d'un *Nostoc* ou à la surface d'un *Chaetophora*.

5. — Le nombre des bactérioïdes est en rapport avec la puissance de multiplication des Bactéries.

6. — Leur répartition uniforme dans les charbons humiques rappelle l'envahissement des milieux organiques par les bactéries. D'autre part, de même que les bactéries ne se développent pas dans les substances bitumineuses, les bactérioïdes font défaut dans le bitume des fissures et dans celui qui remplit les cavités des objets humifiés. Ils n'existent pas davantage dans les gouttes bitumineuses du Schiste du Bois d'Asson.

7. — La très grande résistance des spores bactériennes avec leur protoplasme enkysté sous une capsule épaisse est une condition très favorable, semble-t-il, à leur fossilisation. On connaît aussi la résistance exceptionnellement grande que cette enveloppe oppose à la pénétration des colorants ordinaires.

8. — Lorsqu'il y a des modifications de formes sur les corps bactérioïdes, à part leur association avec des bulbes irrégulières, ce n'est généralement pas un accroissement de volume qui se produit mais l'apparition d'autres formes bactériennes comme des diplocoques, des bacilles. Il y a même parfois des exemples de corps en chaînette et de zooglées.

9. — La nature du milieu formateur était certainement

très favorable au développement d'organismes inférieurs et surtout de Bactéries. Dans ces infusions de poussières végétales et de débris humifiés toutes les conditions requises pour le développement des Bactéries semblent bien avoir été réalisées. Il y a d'ailleurs des exemples certains de bactéries ayant vécu dans des milieux analogues comme le gros microcoque qu'on rencontre souvent dans les planchers médullaires des rameaux de Cordaïtes et dans des pulpes végétales pourries des nodules siliceux de Grand-Croix.

10. — Les corps bactérioïdes ont une autonomie très accusée par rapport à la gelée qui les entoure, puisque la taille les arrache entiers et qu'on les voit dans les cristaux tardifs.

11. — J'ai dit à propos du Brown Oilshale que ces corps sont tombés avec la gelée fondamentale, ce qui tendrait à exclure l'idée de bulles microscopiques libérées après le dépôt et ce qui exclurait, à plus forte raison, des inclusions ayant pénétré tardivement la masse. S'il en était autrement les variations de la répartition des bactérioïdes dans les lits jaunes et dans les lits roux à débris humifiés ne serait pas aussi régulière.

12. — Les bactérioïdes ont été reconnus dans la gelée fondamentale de tous les charbons humiques qu'on a étudiés.

13. — S'il y a des cristaux dans quelques bacilloïdes, on connaît des exemples de bactéries conservées à l'état de moulages comme le *Bacillus permiensis* des coprolithes d'Igornay que j'ai décrit avec M. Renault. D'autre part, nous avons cité des accumulations de microcristaux de pyrite dans un autre bacille coprophile de Lally. L'existence d'un cristal dans les corps bacilloïdes ne suffit donc pas à établir leur nature inorganique.

Il y a donc un ensemble de très excellentes raisons pour conclure comme le fait M. Renault et pour regarder les corps

bactérioïdes de la gelée fondamentale comme des restes de cellules bactériennes fossilisées.

Est-ce excès de prudence de ma part? Est-ce simplement une habitude insuffisante de la lecture des inclusions inorganiques enfermées dans les minéraux? Je ne sais, mais tandis que je n'ai éprouvé aucune hésitation pour reconnaître la nature bactérienne du bacille trouvé dans le mucus intestinal des coprolithes de Buxière et de St-Hilaire, tandis que je reconnais très bien la nature bactérienne du gros microcoque des Cordaïtes macérés de Grand-Croix, je conserve des hésitations sur la nature bactérienne des corps bactérioïdes et les observations spéciales que j'ai faites sur ces corps depuis deux ans n'aboutissent qu'à me rendre plus hésitant. Je crois donc qu'avant de pouvoir écrire que les corpuscules bactérioïdes des roches charbonneuses sont des restes de cellules bactériennes fossilisées, je dois encore attendre des études plus étendues, des preuves plus démonstratives qui écartent complètement quelques remarques que je vais résumer brièvement.

1. — Un très petit nombre des raisons rappelées ci-dessus, pour établir la nature bactérienne des corps en discussion, sont tirés des caractères propres de la cellule bactérienne, et comportent comme conclusion directe que les objets en litige sont des cellules de Bactéries. Les autres arguments ne sont que des preuves indirectes. Leur accumulation augmente seulement la vraisemblance des premiers résultats.

2. — Ces formes globulaires et bacillaires très petites sont fréquemment réalisées par des figures pseudo-organiques. Parmi les inclusions minérales on voit souvent des bulles, des gouttelettes, des micro-cristaux qui affectent des formes aussi régulières et aussi bien calibrées que les bactérioïdes. Les inclusions bullaires de l'argile blanche qui comble les fissures du Kerosene shale d'Hartley montrent des coccoïdes, simples et en diplocoques, des bacilloïdes qui ressemblent

beaucoup à ceux des exsudats et de la gelée fondamentale des roches charbonneuses. — J'éprouve la même impression avec les inclusions bullaires enfermées dans le calcaire qui minéralise les écorces pourries d'Hardinghen et les végétaux des nodules houillers d'Angleterre. — La bauxite m'a paru une accumulation de globules micrococcoïdes très petits avec quelques bacilloïdes. Dans quelques fentes tardives avec bitume du charbon de Ceara, j'ai vu des précipités ferrugineux finement granuleux, qui m'ont présenté le faciès micro-granulaire des coccoïdes. Il se peut qu'on établisse que ces argiles tardives sont le résultat de la minéralisation de gelées bactériennes, ou bien encore qu'elles nous montrent des bactéries fossilisées antérieurement et remaniées par le phénomène qui a produit ces argiles. Avant d'accepter des conclusions dont les conséquences seraient si considérables pour la Géogénie, je crois, en présence des figures pseudo-organiques que l'on rencontre si fréquemment dans les laques ferrugineuses, qu'il convient d'attendre la démonstration directe de la nature de chacun de ces corps bactérioïdes. Dans les exemples que je viens de rappeler les minéralogistes ont actuellement pour ces corps la notion d'inclusions.

3. — Les bactérioïdes existent très nombreux dans les schistes organiques, alors même que la matière organique y est extrêmement réduite.

4. — Les roches charbonneuses comme celles que j'ai étudiées contiennent des gaz libres qui se dégagent quand on les brise, qu'on les déprime ou qu'on les chauffe vers 100°.

5. — Je suis surpris de constater l'absence de localisation du bitume par les corps bactérioïdes. Ils ne sont pas colorés en brun alors que dans le même milieu des corps comme le Bacille coprophile de Buxière et les éléments cellulaires du Zoogleites sont fortement teintés. La résistance opposée par la paroi des spores bactériennes ne me paraît pas être un obstacle

suffisant pour arrêter cette action. La réfringence des cellules bactériennes fixées dans leur période d'activité diffère peu de celle du mucus intestinal et de celle du tissu osseux. Ce résultat est d'accord avec les localisations de bitume que nous connaissons dans les diverses parties des éléments organiques. Il semble donc que dans une endospore l'enveloppe et le corps central devraient être colorés en brun, ce qui n'est pas. Si l'on accepte même qu'en se fossilisant la spore bactérienne a conservé, pour ainsi dire, intacte, sa qualité de se montrer comme un globule brillant incolore et homogène, je suis très surpris de retrouver ce même aspect tout le long des corps bacillaires.

Le gros microcoque des nodules de Grand-Croix est indiqué par une paroi comme les autres corps végétaux.

6. — De même si les coccoïdes sont une forme plus stable des cellules bactériennes telles que des spores, on devrait, semble-t-il, trouver des cellules actives dans les parties les plus jaunes du Schiste de Broxburn, là où la matière était moins épuisée, moins humifiée. Les filets jaunes du Brown Oilshale ne m'ont rien montré de semblable bien que je les ai spécialement interrogés à ce point de vue.

7. — La netteté avec laquelle les corps bactérioïdes se détachent dans la gelée fondamentale me paraît contraster avec la manière dont les autres organismes se comportent par rapport à ce fond. J'ai signalé en étudiant le schiste du Bois d'Asson que tout une catégorie de corps organisés très différenciés nous échappe soit sur les coupes verticales, soit sur les coupes horizontales. Les Zoogleites sont très difficiles à trouver pour qui n'a pas une grande habitude de la lecture des charbons. D'où vient que des cellules bactériennes non colorées soient plus visibles que des spores ou du pollen à surface cutinisée? Je suis surpris aussi que de tels corps aient

si souvent l'aspect bullaire. L'injection gazeuse des autres organismes est plutôt exceptionnelle.

Toutes ces observations ont fait naître dans mon esprit des hésitations, des incertitudes, et jusqu'ici je n'ai pu me faire une conviction dans un sens ou dans l'autre. Je crois donc devoir conserver une très grande réserve au sujet de la nature des corps bactérioïdes des charbons humiques et des charbons de purins. Vu leur importance dans le sujet j'indique cette lacune dans l'espoir qu'elle sera comblée par l'effort commun des paléobotanistes et des minéralogistes. Je pense toutefois que cette question ne peut être résolue maintenant par de simples comparaisons, mais qu'elle demande une démonstration directe faite sur plusieurs exemples.

EXPLICATION DES PLANCHES

J'ai dessiné toutes les figures à la chambre claire. Pour les dix premières planches, elles ont été dessinées à un grossissement supérieur à celui qui est indiqué. Elles ont été ramenées photographiquement à ce grossissement par une réduction qui est rappelée en tête de chaque planche. La plupart des figures demandent à être étudiées à la loupe.

PLANCHE I (1)

Le Brown Oilshale de la région de Broxburn

Section verticale d'ensemble. — Sections verticales grossies. — Poches à bitume.

Fig. 1. — Tranche verticale, faite à l'émeri, dans un morceau de Brown Oilshale. La tranche est vue par réflexion. Gr. 1,33. — Les filets les plus foncés du dessin correspondent aux lits où domine la gelée jaune.

Fig. 2. — Section verticale vue par transparence. Gr. 22. — Les lits orangés, plus transparents, se détachent en blanc sur le fond du dessin. Les lits bruns, plus chargés en cristaux et en bactérioïdes, où la lumière est plus absorbée, sont représentés plus foncés.

h. Fentes horizontales. — Les diverses fissures horizontales sont distinguées l'une de l'autre par l'indice joint à la lettre *h*. Exemples : h_2 h_2, h_5 h_5. — La succession des indices n'implique pas que les fentes désignées se sont succédé dans cet ordre.

o. Fentes obliques. Certaines d'entre elles, comme o_4 o_6, o_9, o_{10} sont fortement redressées.

(1) Les figures de cette planche ont subi une réduction aux 2/3.

pb. Fissures demeurées ouvertes entre les massifs de la gelée fondamentale. Elles forment des poches à bitume.

pp. Masses déplacées par glissement et dont les lits se sont plissés.

a. Thalles d'*Epipolaïa Bowerl*.

fh. Fragments végétaux fortement humifiés.

π. Trainées de pyrite.

Fig. 3. — Voir Pl. II.

Fig. 4. — Section verticale montrant la rencontre de fentes horizontales et d'une fente oblique. Gr. 66. — Dans l'angle formé par les failles h_1 h_1 et o_1 o_1 est tombé en lambeau doublement plié.

Le banc jaune j_1 est compris entre deux fentes horizontales h_1 h_1 et h_2 h_2. Vers la droite de la figure la masse sur laquelle repose j_1 ne correspond pas à la masse c_2. La fissure h_2 h_2 a donc été marquée arrêtée à la faille o_1 o_1. Sur la droite de la figure le banc j_1 est séparé du massif sous-jacent par la fente horizontale h_7. — Entre les deux parties du banc j_1 s'est intercalé un massif dont les lits c_1 sont fortement redressés dans la région c'_1 vers le haut de la fente o_1 o_1. Le massif c_1 et le massif c_2 appartiennent au même lit.

h_3 est une fente horizontale redressée par glissement dans sa partie gauche.

Le banc jaune j_2 est pris entre trois failles horizontales h_1 h_5, h_6. Il a été refoulé. Il a formé ainsi plusieurs plis couchés qui enferment même des lambeaux de ce lit, comme on le voit en j'_2.

Fig. 5. — Portion de la section verticale précédente grossie 233 fois. Elle représente le lambeau L, tombé dans la faille multiple. Le lambeau, doublement plié, est entouré de bitume On a accentué la coloration du bitume pour souligner la présence du lambeau.

Les flèches indiquent le sens probable des glissements exécutés par les masses disloquées.

Fig. 6. — Une poche à bitume à la jonction de deux failles horizontales h_1 h_1, h_2 h_2 et de deux failles obliques o_1 o_1, o_2 o_2. Gr. 233.

On s'est borné à indiquer la direction générale des lits de la gelée fondamentale voisine. Vers le haut de la poche il y a de minces lambeaux de gelée fondamentale maintenus horizontalement. Ils sont entourés par le bitume.

Planche II (1)

Sections horizontales du Brown Oilshale de la région de Broxburn. — Organites du schiste bitumineux du Bois d'Asson.

Fig. 3. — Section verticale prise dans une région qui montre une faille horizontale h_I h_I et une petite fracture oblique o_I o_I. Gr. 66.

j. Lits transparents plus jaunes.

c. Lits bruns, moyennement chargés en menus débris, en bactérioïdes et en cristaux.

cc. Lits bruns plus foncés et plus fortement chargés en menus débris, en bactérioïdes et en cristaux.

Fig. 7. — Section horizontale du Brown Oilshale dans une région où, par suite de déplacement, les courbes de niveau figurées par les sections des divers lits sont assez nombreuses et fréquemment interrompues. Gr. 14.

F. Champs limités par des failles. — Dans chaque champ, comme dans un faisceau de couches houillères, il peut y avoir plusieurs lits. Les divers champs sont distingués par leurs indices. — La gradation des teintes donne une idée de la charge relative des divers lits en menus débris, en bactérioïdes et en cristaux. Les lits jaunes, plus transparents, ont été figurés incolores. Les lits bruns sont de plus en plus foncés, selon leur charge relative.

Au centre de la figure, F_I montre un champ limité de tous côtés par des failles presque horizontales. Il figure comme un îlot pointant au milieu des autres champs. — F_{IO} montre un champ analogue à la partie supérieure de la figure. L'extrémité inférieure gauche de ce champ, fortement inclinée et pliée, présente ses couches coupées presque verticalement.

Fig. 8. — Portion supérieure médiane de la Fig. 7 montrant le détail du champ F_{IO}, les deux champs voisins F_{II}, F_{I2} et les fentes à bitume demeurées ouvertes entre les massifs déplacés.

Dans cette figure, les lits dont on a reconnu la continuité ont été notés de la même manière.

Fig. 9 à 13, voir Pl. III. Fig. 14 à 25, voir Pl. IV.

Fig. 26. — Corps sacculaires discoïdes à membrane mince et fragile. Gr. 400.

A. Le sac brisé et ouvert — B. et F. Le sac plissé. — C. Le sac avec un seul pli (Cette forme est très fréquente). — D. E, G, Sacs à contour plus ou moins polygonaux avec un seul pli.

(1) Les figures de cette planche ont subi une réduction aux 13/21.

Fig. 27. — Un kyste ouvert avec la gelée fondamentale voisine. Gr. 350.

Fig. 28. — Corps sacculaires avec la gelée fondamentale voisine. Gr. 350.
Pour l'explication des lettres des fig. 27 et 28, voir fig. 14 et 15, Pl. IV.

Organites du schiste bitumineux du Bois d'Asson.

Fig. 48. — Corps desmidiformes à paroi brun rouge, imprégnée de bitume. Gr. 330.
A. L'organite vu de profil. Cette forme rappelle un *Cosmarium*. — B. L'organite vu de trois quarts.

Fig. 49. — Spore simple ou kyste avec un grand trou. Gr. 330. La paroi est rouge brun.

Fig. 50. — Bispore??. Gr. 330. La paroi est rouge brun.

Fig. 51 — Tetraspore à cellules arrangées en série linéaire. Gr. 330.
A. La grosse forme ; B. La petite forme. — La paroi est rouge-brun.

Fig. 52. — Organite indéterminé. Lambeau de membrane chitineuse treillisée, colorée en rouge brun. Gr. 330.

PLANCHE III (1)

Brown Oilshale de la région de Broxburn.
Gouttes bitumineuses du Schiste du Bois d'Asson.

Fig. 9. — Section verticale présentant une grande faille horizontale h_1 h_1 qui a coupé tout un système de plis couchés. Gr. 66. — Le lit j_1 montre quatre plis dont la partie inférieure a été enlevée. — Le système de lits parallèles j_2 s'élargit à droite de la figure, dans sa partie redressée. Ses plis sont coupés par la faille h_1 h_1. — La couche cc_2 est comprise entre deux failles horizontales. Ses filets n'ont été ni plissés, ni redressés. On remarquera combien la faille h_2 h_2 qui se trouve dans de la gelée rousse vers la gauche de la figure y devient difficile à reconnaître.

h_3 h_3, faille horizontale qui sépare le banc j_1 du banc cc_1 dans la partie droite de la figure.

Fig. 10. — Section verticale montrant plusieurs failles obliques o_1, o_2, o_3, o_4. Le faisceau de lits *F*, placé à la partie supérieure gauche de la figure montre à sa partie inférieure un ensemble de filets transparents fortement pliés. Gr. 66.

h_1 h_1, grande faille horizontale entre les filets j_1 et cc_1.

(1) Les figures de cette planche ont subi une réduction aux 2/3.

Fig. 11. — Section verticale de la gelée fondamentale dans une partie moyennement humifiée, à l'état de gelée rousse. Gr. 200.

gf. La gelée fondamentale.
ag. Cristaux de matière argileuse.
ca. Cristaux de calcite. — π. Cristaux de pyrite.
sp. Spores.
p. Grains de pollen.
fh. Menus fragments végétaux humifiés. — Les fragments les plus fortement humifiés, de couleur brun noir, sont couverts de hachures inclinées vers la gauche. Les fragments rouge-brun sont couverts de hachures inclinées vers la droite.

Les corps bactérioïdes sont indiqués par des points.

Fig. 12. – Section verticale d'une spore et de la gelée entourante. Gr. 360.

M. Macrococcoïdes. — μ. Micrococcoïdes.

Fig. 13. — Section verticale rencontrant de menus débris végétaux humifiés. Gr. 300.

f^1h^1. Morceau de vaisseau scalariforme fortement humifié.
f^2h^2. Parois cellulaires humifiées, limitant des cavités closes remplies de bitume.
b. Bitume. Il ne contient pas de corps bactérioïdes.

Gouttes de bitume solidifiées dans le Schiste du Bois d'Asson.

Fig. 40. — Goutte affaissée, circulaire, avec de grosses bulles circulaires et un prolongement latéral. Vue par dessus. Gr. 250.

v. Bulles ou vacuoles dans la masse de la goutte bitumineuse.

Fig. 41. — Goutte affaissée étalée en lame quadrangulaire, avec de grosses bulles circulaires, dont quelques-unes sont très proches de la surface. Vue par dessus. Gr. 250.

Fig. 42. – Coupe verticale dans une goutte de bitume. — Les bulles affaissées et étirées y formaient des canalicules. Gr. 350.

La direction horizontale est indiquée par la flèche.

Fig. 43. — Coupe verticale dans une goutte de bitume. Gr. 350.

Fig. 44. — Masse de bitume en forme de bâtonnet. Vue par dessus. Gr. 250.

Planche IV (1)

Brown Oilshale de Broxburn.
Gelée fondamentale et corps bactérioïdes.

Fig. 14 — Section verticale de la gelée fondamentale au contact d'une bande orangée et d'une bande rousse. Gr. 1200.

(1) Les figures de cette planche ont subi une réduction aux 2/3.

sp. Spore.
fh. Fragment de paroi végétale humifiée.
cut. Lambeau cuticulaire à l'état de corps jaune.
μ. Micrococcoïde. — μμ. Micrococcoïdes couplés en diplocoques. — *B*μ. Micrococcoïde lié à une bulle. — μ*c*. Microccoïde enfermé dans un petit cristal.
β. Bacilloïde. — β*c*. Bacilloïde contenant un microcristal.
ag. Cristaux de matière argileuse. — *mag.* Microcristaux couchés à plat.
ca. Cristaux de calcite. — *co.* Matière jaune concrétée et en globules huileux.
π. Pyrite.

Fig. 15. — Section verticale de la gelée fondamentale dans une bande rousse encore très chargée de matière jaune. Gr. 1200.

Fig. 16. — Section horizontale de la gelée fondamentale dans une zone rousse. Gr. 1000.

Fig. 17. — Section horizontale de la gelée fondamentale dans une zone rousse encore très chargée de matière jaune. Gr. 1200.

Fig. 18. — Corps bactérioïdes à l'état de pureté sur la surface d'un groupe de thalles d'*Epipolaïa Boweri*. Gr. 1200.

μ. Micrococcoïde, aspect de la mise au point superficielle.
μ*a*. Micrococcoïde, aspect de la mise au point médiane.
μ*c*. Micrococcoïdes dans un cristal.
μμ. Micrococcoïdes couplés en diplocoques.

Fig. 19 et 20. — Autres points de la même région. Sur la figure 20, on voit un bacilloïde.

Fig. 21. — Macrospore à fente triradiée dont la surface est couverte de crêtes. Gr. 400.

Fig. 22. — Macrospore à fente triradiée dont la surface est criblée de trous. Gr. 400.

Fig. 23. — Macrospore à surface fortement chagrinée. Gr. 400.

Fig. 24. — Microspore à surface finement réticulée. Gr. 400.

Fig. 25. — Kyste ? Gr. 400. — *A*. Un Kyste vu de face pour montrer son orifice. — *B*. Un Kyste vu de profil.

Planche V (1)

Schiste bitumineux. du Bois d'Asson.

Fig. 29. — Section transversale d'ensemble, vue par transparence sur un fond peu lumineux. Gr. 5.

(1) Les figures de cette planche ont subi une réduction aux 13/21.

Le fond brun régulièrement stratifié est piqué d'une infinité de petits points blancs et jaunes transparents qui se détacheraient en clair sur un fond plus lumineux. Sur un fond moins lumineux, comme une feuille de papier blanc, on voit les grandes déchirures horizontales *H*, et les plus grosses gouttes bitumineuses *B* et *b*.

Les grandes déchirures horizontales sont comblées par un exsudat minéralisé et par des cristaux tardifs. Elles se détachent en blanc mat ou en gris.

Les gouttes de bitume, étalées en lames parfois très étendues, forment de très petites pellicules brun rouge.

B. Une très grande lame de bitume, *b*. les amas ordinaires.

Dans cette partie de l'échantillon il n'y avait pas de fragments de feuilles.

Fig. 30. — Section transversale dans une région sans déchirures horizontales. Gr. 250.

gf. Gelée fondamentale légèrement réticulée.

a. Thalles de *Botryococcites Largæ*.

p. Grains de pollen.

d. Diatomées. — Les diverses espèces sont distinguées par l'indice joint à la lettre *d*. — d^I. Disques d'Orthosira. — $d^I{}_a$. Section axiale d'un disque d'Orthosira.

σ. Spicules. — σv. Spicules en navette. — σσ. Spicules sphérulaires.

b. Masse de bitume. — *gb*. Bitume en gouttelette. Cette gouttelette peut être étalée en lame épaisse. — *lb*. Bitume en lame mince.

fh. Fragments végétaux humifiés.

Fig. 31. — Section transversale dans une région qui présente des déchirures horizontales. Gr. 260.

ex Exsudat remplissant les déchirures horizontales. Il est chargé de corps bactérioïdes uniformément répartis tenus en suspension. Il contient aussi quelques Diatomées très légères et de très petits spicules sphérulaires.

Quelques trabécules provenant de l'écartement des feuillets de la gelée fondamentale traversent l'exsudat et y sont maintenus en suspension. Dans ces trabécules la gelée fondamentale présente ses corps accidentels ordinaires, pollen, Diatomées, spicules et des gouttes bitumineuses.

La masse cristalline localisée dans l'exsudat n'a pas été représentée.

Fig. 32. — Section transversale de la gelée fondamentale dans une partie non déchirée. Gr. 1000.

M. Macrococcoïdes.

μ. Microccocoïdes. Ils sont extrêmement petits. — μ'. Micrococcoïdes dans une spicule sphérulaire σσ.

β. Bacilloïdes.

Fig. 33. — Section transversale de l'exsudat qui remplit une grande déchirure horizontale de la gelée fondamentale. Gr. 1100. — La masse cristalline localisée dans l'exsudat n'a pas été figurée.

Fig. 45. — Goutte de bitume affaissée, avec bulles. — La matière bitumineuse qui entoure chaque bulle a formé membrane autour de celle-ci. Gr. 330.

***b*. Bitume. — *m b*. Région du bitume formant membrane autour de la bulle. — *v*. Bulle.**

Fig. 46. — Masse de bitume tubulaire avec bitume solidifié, en masses mamelonnées à la surface du tube. Gr. 260.

Fig. 47. — Mycélium rameux avec hyphes cloisonnés transversalement. Gr. 330. — La paroi est rouge-brun.

PLANCHE VI (1)

Gelée fondamentale, Gouttes bitumineuses et Organites du Schiste du Bois d'Asson.

Fig. 34. — Section horizontale de la gelée fondamentale. Gr. 500. — La partie ombrée représente de très minces lames bitumineuses vues par transparence.

γ. Microcristaux bacilliformes.

Fig. 35. — Section horizontale de la gelée fondamentale. Gr. 1200.

***bu*. Bulles avec ou sans macrococcoïdes.**

β^{I}. Bacilloïde contourné à une extrémité. — Sous cet aspect le corps bacilloïde ressemble à une germination de Bactérie.

Fig. 36. — Un autre point de la même section montrant deux bacilloïdes croisés et un macrococcoïde dans une bulle. Gr. 1200.

Fig. 37. — Section verticale d'une goutte de bitume à vacuoles arrondies non affaissées. Gr. 240.

***v*. Vacuoles ou bulles de la goutte.**

Fig. 38. — Une grosse goutte de bitume étalée horizontalement. — La coupe verticale montre les vacuoles affaissées et légèrement étirées. Gr. 240.

Fig. 39. — Section verticale d'une goutte de bitume en forme de tube creux terminé par une lame. Sur cette goutte repose un spicule en navette. Gr. 240.

***pv*. Paroi de la bulle. Elle présente des épaississements mamelonnés à sa face interne.**

***lv*. Extrémité de la goutte formant larme. Le bitume y est plein, sans vacuoles.**

G^{I}. Autre goutte de bitume. Elle est pleine. Ce bitume est plus foncé que celui de la goutte tubulaire qui repose directement sur elle.

(1) Les figures de cette planche ont subi une réduction aux 2/3.

Fig. 40 à 44. — Voir Planche III.

Fig. 45 à 47. — Voir Planche V.

Fig. 48 à 52 — Voir Planche II.

Fig. 53. — Section radiale de deux cellules d'Orthosira. Gr. 360. — Sur la cellule placée en bas de la figure on voit en perspective la cloison transversale.

Fig. 54. — Section radiale d'un filament d'*Orthosira*. Gr. 180.

Fig. 55. — Section radiale d'une cellule d'*Orthosira*. Gr. 1000. — La gelée transparente qui remplit la cellule contient quelques corps bactérioïdes.

Fig. 56 A et B, 57, 58 A et B, 59 A et B, Diatomées diverses. Les figures portant la lettre A sont au grossissement de 360, celles qui portent la lettre B et la fig. 57 sont vues au grossissement de 1000.

Fig. 60. — Diatomée, vue par sa face transverse. Gr. 530.

Fig. 61. — Diatomée en chaînette. — A. Trois cellules consécutives vues de profil. Gr. 360. — B. Le bord de l'un de ces profils. Gr. 1000.

Fig. 62. — Profil de la Diatomée représentée fig. 57. Gr. 1000. — Lorsque cette Diatomée est affaissée elle se présente souvent en ∞ sur les sections verticales.

Fig. 63 et 64. — Diatomées. Gr. 360.

Fig. 65. — Diatomées en chaînette rappelant le dispositif des *Himanthidium*. — A. Quelques cellules vues de profil. Gr. 360. — B. Détail de l'ornementation de la paroi latérale. Gr. 1000.

Fig. 66. — *Melosira*. Gr. 520.

Fig. 67. — Diatomées très légères souvent entraînées dans l'exsudat qui comble les fentes horizontales.

Fig. 68. — Spicules de Spongiaires. — σv, Spicules en navette — $\sigma_1 v_1$ Spicules en navette à large canal. Gr. 80. — Les mêmes lettres accentuées désignent les mêmes sortes de spicules vues au grossissement de 240. — $\sigma\sigma$. Spicules sphérulaires. — $\sigma_1\sigma_1$ Petits spicules sphérulaires.

Fig. 69. — Spicules en haltère. — A, au grossissement de 180. — B, au grossissement de 370.

Fig. 70. — Lame chitineuse fenêtrée. Gr. 240.

Fig 79. — Section transversale des bords de la coquille du Cypris de Ceara dans leur région médiane. — A. Bord ventral. — B. Bord dorsal.

Planche VII (1)

Charbon humique de Ceara.

Fig. 71. — Section verticale du schiste bitumineux de Ceara. Gr. 2.

Ω. Grands oolithes. — ω. Petits oolithes développés dans des coquilles de Cypris non écrasées.

Fig. 72. — Section verticale dans une partie du schiste qui présente de grandes fentes obliques et où les parties se sont déplacées. Gr. 40. — La section rencontre un gros oolithe qu'elle coupe un peu en dehors de sa région centrale. Les cristaux du centre sont coupés presque transversalement, ceux de la périphérie sont coupés très obliquement.

***o*. Fentes obliques. Les diverses fentes sont distinguées par l'indice joint à la lettre *o*.**

***h*. Fentes horizontales primitives. Les diverses fentes sont distinguées par l'indice joint à la lettre *h*.**

***Cy*. Coquilles de Cypris. — *Cy.e*. Coquilles effondrées. — *bv*. Bord ventral de ces coquilles. — *bd*. Bord dorsal. — *c. Cy*. Cavité limitée par la coquille. — *bi cy*. Bitume remplissant la coquille. — *ωcy*. Oolithe rayonné développé dans la coquille.**

***D*. Déchirures tardives comblées par le bitume.**

Fig. 73. — Section verticale du schiste dans une partie non fissurée, mais avec coquilles effondrées. Gr. 240.

***p*. Pollen en tétrade.**

***ca'*. Petits cristaux de calcite uniformément répartis dans la gelée fondamentale.**

***π'*. Petits cristaux de pyrite uniformément répartis dans la gelée fondamentale.**

***D*. Déchirures tardives comblées par le bitume avec ou sans cristaux tardifs.**

Fig. 74. — Section verticale du schiste dans une partie non fissurée. — Le bord dorsal de la coquille effondrée a coupé la gelée en se redressant. Gr. 240.

***fhn*. Fragments végétaux humifiés presque à l'état de fusain.**

Fig. 75. — Section verticale coupant transversalement une coquille de Cypris effondrée dans sa partie ventrale et occupée par des cristaux rayonnés dans sa région dorsale. Gr. 240.

***b.ca''*. Bulles rayonnées dans les cristaux rayonnants.**

Fig. 76. — Un grain de pollen composé affaissé. Gr. 260.

(1) Les figures de cette planche ont subi une réduction photographique aux 13/21.

Fig. 77. — Une microspore de Cryptogame vasculaire vue par le sommet. Gr. 260.

Fig. 78. — Un amas de spores d'une Mucédinée. Gr. 260.

Fig. 79. — Voir Planche VI.

PLANCHE VIII

Schiste bitumineux ou Charbon humique de Çeara.

Fig 80. — Section verticale du schiste qui coupe transversalement une coquille de Cypris couchée sur le flanc. Gr. 66.

Fig. 81. — Section verticale du schiste qui montre le bord d'une fente tardive pleine de bitume et de cristaux plats. Gr. 260.

- *cap*. Cristaux plats de calcite développés tardivement dans le bitume.
- *cat*. Cristaux tardifs postérieurs à la consolidation développés dans le schiste.
- *ca'β*. Cristaux avec bulles. — Celui qui est spécialement indiqué sur cette figure contient plusieurs bulles volumineuses dans le même cristal.

Fig. 82. Section verticale du schiste qui montre la partie moyenne d'une fente tardive pleine de bitume et de cristaux plats. Gr. 260. — On voit quelques bulles et des corps bactérioïdes dans quelques-uns des cristaux plats. Il y a de même quelques corps bactériformes, très petites bulles ou corps bactérioïdes, en un point du bitume.

Fig. 83. — Section verticale d'une fente tardive avec petits cristaux émoussés formant revêtement. Gr. 260. — Les cristaux de la fente tardive sont chargés de nombreuses bulles.

- *cae*. Cristaux émoussés formant revêtement au pourtour de la fente.

Fig. 84. — Section horizontale du schiste au voisinage d'un grand oolithe. Gr. 40. — Au pourtour de l'oolithe les couches du schiste *cr*. contournées par le retrait, sont coupées presque verticalement. Dans la partie gauche de la figure on voit trois coquilles de Cypris. — Les fentes les plus tardives *D* π sans bitume sont chargées de pyrite.

Fig. 85. — Une valve de la coquille d'un Cypris montrant la manière dont ces coquilles sont brisées par le retrait. Gr. 66.

Fig 86. — Section verticale du schiste. Gr. 400. — Dans cette partie la gelée fondamentale montre des traits bruns entourés d'une auréole plus claire.

Fig. 87. — Section verticale du schiste. Gr. 800. — Cette plage montre encore les traits bruns entourés d'une auréole plus claire.

- μ. Micrococcoïdes libres, isolés.
- β. Bacilloïdes.
- *ca'β*. Cristaux avec bulles.

Fig. 88. — Section horizontale de la gelée fondamentale. Gr. 800.

μ. Micrococcoïdes libres et isolés.

μ_2. Micrococcoïdes rassemblés.

β. Bacilloïdes.

En haut de la figure est un groupe de cristaux tardifs avec une bulle centrale dans chaque cristal.

Fig. 89. — Cristaux tardifs, pyrite et corps bactérioïdes sur une section horizontale. Gr. 800.

Fig. 90. — Grain de pollen composé, vu par un des pôles de la tétrade. Gr. 400.

Fig. 91. — Autre aspect d'un pôle de grain de pollen composé. Gr. 400.

Fig. 92. — L'une des cellules d'un grain de pollen montrant ses ornementations disposées en hélice autour du grain. Gr. 400.

Fig. 93. — Une macrospore? de Cryptogame vasculaire coupée obliquement. Gr. 400.

Fig. 94. — Coupe d'une spore de Cryptogame vasculaire. Gr. 400. — Cette spore est plus petite et moins épaisse que la précédente.

Fig. 95. — Une microspore de Cryptogame vasculaire, vue par le sommet. Gr. 400.

Fig. 96. — Deux téleutospores? Gr. 400. — Les parois épaisses sont colorées en rouge brun.

Fig. 97. — Un groupe de spores d'une Mucédinée. Gr. 400.

Fig. 98 et 99. — Spores de Mucédinée affaissées et déchirées. Gr. 800.

Fig. 100. — Filament mycélien ramifié et à branches contournées. Gr. 400 — On y voit quelques rares cloisons transversales.

Fig. 101. — Section verticale d'un grain de pollen composé.

Planche IX

Schiste bitumineux de l'Allier.

Fig. 102. — Section verticale du schiste des Têtes-de-Chats, vue par transparence. Gr. 6. — On a dû affaiblir la teinte générale de la gelée brune pour mettre en évidence les coprolithes et les écailles isolées.

K^1. Grands coprolithes finement granuleux et réticulés, mais à bols alimentaires non distincts. — *fK*. Fragments de coprolithes éparpillés.

k. Petits coprolithes.

E. Ecailles ganoïdes isolées. — *E K*. Ecailles dans les coprolithes.

fo. Fragments osseux isolés sans matière stercoraire. — *mfo*. Une masse de ces fragments osseux isolés.

fh. Fragments végétaux humifiés.

La réticulation du fond à ce grossissement est produite par les déchirures à grands cristaux Les déchirures à exsudat régulièrement minéralisé sont rares.

Fig. 103. — Section verticale de la gelée brune du schiste des Têtes-de-Chats dans une région où elle est fortement colorée et fortement contractée. La coupe rencontre un coprolithe à grosses granulations. Gr. 400.

K^2. Coprolithe à grosses granulations et sans bols alimentaires distincts.

fe. Fragments d'émail tombés d'écailles ganoïdes. On en trouve dans les coprolithes et dans la gelée fondamentale.

Z. Thalles de *Zoogleites elaverensis*.

p. Grains de pollen affaissés.

mi. Lamelles de mica.

Dans cette région, les petites fissures horizontales de la gelée brune sont peu visibles.

Fig. 104. — Section verticale de la gelée brune du même schiste dans une région plus chargée de fissures à cristaux. Gr. 400. — J'ai atténué beaucoup, sur cette figure, la coloration de la gelée brune de façon à mettre en évidence les petites fissures dont elle est criblée. Plusieurs de ces fissures montrent de petits cristaux.

Fig. 105 à 111. — Voir Planche X.

Fig. 112. — Grains de pollen de Cordaïte. Le gros pollen. Gr. 200.

ex. Exine. — *in*. Intine. — *cha*. Chambre à air entre l'intine et le haut de l'exine. — *b*. bec saillant ou rentré selon l'état de dilatation ou de contraction du grain. — *c*. Cavité cellulaire du grain de pollen selon l'état d'affaissement de l'exine par rapport à l'intine : l'intine touche l'exine vers le sommet du grain ou bien elle en est séparée par la chambre à air. C'est toujours ce qui a lieu quand le grain est complètement dilaté. — Ces grains de pollen ne sont pas cloisonnés.

A. Le grain vu d'en haut. L'ornementation réticulée de l'exine a été supprimée. — *B*. Section longitudinale principale d'un grain dont l'intine touche l'exine. Le bec du grain est encore enfoncé vers la cavité cellulaire. — *C*. Section transversale d'un grain complètement dilaté avec son bec saillant. — *D*. Section d'un grain à mi-hauteur pour montrer l'isolement relatif de l'intine par rapport à l'exine. — *E*. Un grain fortement déprimé, vu partiellement par la partie inférieure. — *F*. Section transversale d'un grain déprimé dont l'intine touche l'exine. — *G*. Section longitudinale d'un grain dont l'intine se plisse.

Fig. 113. — Section d'un sac pollinique montrant du pollen moyen. Gr. 200. — Le pollen *p* est à l'état de corps jaune. La paroi du sac *p s* est complètement affaissée, colorée en rouge brun et très chargée de bitume.

Fig. 114. — Le pollen moyen tel qu'il est étalé dans un nodule siliceux de la Grosse Couche. Gr. 200.

A. Le grain de pollen complètement dilaté vu par dessus. — *B*. Un grain affaissé où l'exine touche latéralement l'intine. — *C*. Coupe longitudinale du grain. — *D*. Coupe transversale. — *E*. Coupe transversale d'un grain montrant l'intine plissée, ce qui explique l'aspect pseudocloisonné de l'intine vue par dessus.

Fig. 115. — Un groupe de quatre spores. Gr. 200. Les ornementations en perles irrégulières isolées n'ont pas été figurées. — *A*. L'un des aspects de la tétrade — *B*. L'autre aspect.

Planche X

Schiste bitumineux de l'Allier.

Fig. 105. — Section verticale de la gelée brune du schiste des Têtes-de-Chats dans une région réticulée. Gr. 400. — La section rencontre vers le bas une région déchirée à grands cristaux. Vers le haut elle coupe une fente à exsudat.

gf. Gelée brune fondamentale. — *gff*. Gelée brune dans sa partie la plus compacte avec de petites fissures horizontales comme celles de la fig. 104. — *gfr*. Gelée fondamentale dans sa partie finement déchirée avec cristaux petits et moyens. — *gf Ca*. Gelée fondamentale dans sa région déchirée avec grands cristaux et nombreux bactérioïdes. Les cristaux sont couverts de bactérioïdes. Il y en a même dans l'intérieur des cristaux.

D. Déchirure horizontale à exsudat minéralisé, avec bactérioïdes répartis uniformément.

π. Amas de cristaux de pyrite.

Fig. 106. — Section verticale de la gelée brune du même schiste dans une région où la gelée fondamentale montre de nombreuses fissures horizontales. Gr. 400. — La section coupe verticalement un thalle de fleur d'eau.

A. Le thalle coupé verticalement. — *pa*. Paroi, à couches concentriques, des éléments cellulaires de l'algue. — *pra*. Section des protoplastes cellulaires.

Fig. 107. — Section verticale de la gelée brune coupant un thalle épais de *Zoogleites elaverensis*. Gr. 400.

Fig. 108. — Section verticale de la gelée brune dans un nodule siliceux de la Grosse Couche. Gr. 200.

flg. Flocons grumeleux de gelée brune. Ils ne se touchent qu'imparfaitement.

flbr. Flocons plus bruns. Ils sont plus colorés, plus finement grumeleux et mieux délimités.

p^{I}. Un grain de pollen de Cordaïte de la grosse espèce coupé presque transversalement.

ex. Exine. — *in*. Intine formant une cloison libre dans la partie qui sépare la chambre à air de la cavité cellulaire du grain. Par suite d'une légère dépression, le bec *b* du grain est rentré dans la cavité cellulaire au lieu de faire saillie au dehors. — *cha*. Chambre à air. — On remarquera que le grain de pollen est largement gonflé et que la gelée brune n'y a pas pénétré.

sp^{4}. Très petite spore à ligne de déhiscence en forme de croix.

Fig. 109. Le Bacille du mucus intestinal dans les coprolithes à bols alimentaires fixés. Gr. 400.

mbr. Masses brunes granuleuses formant les bols alimentaires.

m. Le mucus intestinal.

βm. Le bacille du mucus intestinal. Quelques Bacilles sont coupés transversalement.

Fig. 110. — Section d'un groupe de cellules osseuses coupant longitudinalement quelques canalicules. Dans ces canalicules, on aperçoit des cellules du *Micrococcus lepidophagus* B. R. Gr. 400. — Les protoplastes des cellules osseuses sont teintés en brun par le bitume. On ne voit pas de Microcoques dans ces cellules ni dans les canalicules qui en partent.

Fig. 111. — Section transversale d'un groupe de canalicules osseux montrant des microcoques dans les canalicules. Gr. 1000.

c. Tube du canalicule. — *p*. Sa paroi propre.

μ. Cellules du Microcoque.

Fig. 112 à 115. — Voir la Planche IX.

Fig. 116. Section longitudinale d'un grain de pollen de la grosse espèce. Gr. 200. — L'intine est fortement plissée dans sa partie libre.

Fig. 117. — Une intine plissée dans un grain de pollen de la grosse espèce. Elle est vue d'en haut. Gr. 130.

Fig. 118. — Grain de pollen avec *Tenuicutites chytridiæformis* logés dans la chambre à air. Gr. 200.

P. Les gros grains de pollen. — P'. Coupe radiale légèrement affaissée. L'exine repose sur le sommet de l'intine. L'un des Tenuicutites est fixé sur l'intine et vu de profil. Trois autres sont vus par transparence. Un cinquième est fixé sur l'exine. — P''. Coupe longitudinale d'un grain plus affaissé. Elle ne passe pas non plus par le bec du grain.

mp. Grains de pollen moyens. Tous trois sont vus par le sommet.

p. Les petits grains de pollen. *p'* est vu par en haut, *p''* est vu en coupe longitudinale. Je n'ai pas vu de Tenuicutites dans ce petit pollen.

T. *Tenuicutites chytridiæformis*. *T'* vu de profil. *T''* vu par le haut.

Planche XI (1)

Epipolaïa Boweri, Botryococcites Largæ, l'Algue de Ceara, Zoogleites elaverensis, Bactéries de Buxière, Tenuicutites chytridiæformis.

Fig. 119 à 124. — *Epipolaïa Boweri* C. E. B.

Fig. 119. — Contour de la section verticale d'un gros thalle cérébriforme d'*Epipolaïa Boweri*. Gr. 450. — Cette figure montre le port de la plante posée dans une gelée fondamentale de forte consistance (2). Sous cet aspect l'*Epipolaïa* ressemble beaucoup au *Reinschia australis*.

Fig. 120. — Section verticale d'un autre thalle cérébriforme présentant sa cavité centrale. Gr. 300.

Fig. 121. — Section verticale d'un petit thalle mince. Gr. 600.

Fig. 122. — Section verticale du bord d'un gros thalle cérébriforme au voisinage d'un repli. Gr. 600.

Fig. 123. — Section verticale d'un lobe de thalle plus épais. Gr. 600. — On ne voit pas de gelée interposée entre les cellules. Ces éléments sont renflés vers l'extérieur. Ils ont des parois épaisses. Il n'y a pas de lamelles moyennes différenciées entre les cellules comme chez les Pilas.

Fig. 124. — Section horizontale d'un lobe de gros thalle cérébriforme. Gr. 600.

Fig. 125. — Section verticale d'un lobe de thalle cérébriforme gommifié. Il est déjà creusé de canaux. Gr. 600.

Fig. 125. — *Algue du Charbon de Ceara.*

Fig. 126. — Section verticale d'un thalle d'algue rayonnée rencontrée dans le charbon humique de Ceara. Gr. 600. — Les parois cellulaires sont épaisses, striées concentriquement. Les masses protoplasmiques sont renflées vers l'extérieur. Il y a probablement de la gelée interposée entre les cellules comme chez les Botryococcites.

Fig. 127 à 132. — *Botryococcites Largæ* C. E. B.

Fig. 127. — Section verticale d'un thalle moyen. Gr. 125.

Fig. 128. — Section horizontale d'un thalle moyen. Gr. 125.

(1) La reproduction photographique des croquis de cette planche a été faite sans réduction.

(2) Cette consistance devait être celle d'une gelée aqueuse de gélose titrant de 0.006 à 0.008.

Fig. 129. — Section verticale d'un grand thalle. Gr. 125.

Fig. 130. — Section verticale d'un thalle un peu plus grand que les thalles moyens. Gr. 600.

ge Gelée interposée entre les groupes cellulaires. Elle est plus fortement colorée en jaune que les parois.

c Cellules ovoïdes. Elles sont groupées en lits. Celles des extrémités du diamètre horizontal sont coupées très obliquement, presque axialement. — Les parois propres de ces cellules sont épaisses et très blanches.

Fig. 131. — Quelques cellules d'un autre thalle coupées verticalement. Gr. 600.

Fig. 132. — Section horizontale d'un gros thalle. Gr. 600.

Fig. 133 et 134. — *Zooglœa ?* C. E. B.

Fig. 133. — Section verticale d'un très grand thalle. Gr. 600.

Fig. 134. — Section horizontale d'un petit thalle. Gr. 600.

c. Cellules sphériques brun foncé, isolées dans la gelée.

ge. Gelée séparant les cellules et entourant toute la masse.

Fig. 135 à 137. — *Micrococcus lepidophagus* B. R.

Fig. 135. — Section longitudinale de trois canalicules osseux d'une écaille ganoïde. On y voit les cellules du *Micrococcus lepidophagus* teintées en brun, disposées à peu près régulièrement en file. Gr. 1000.

Fig. 136 A et B. — Section longitudinale de deux canalicules osseux avec cellules du Micrococcus. Ces éléments sont un peu plus petits que ceux de la figure 135. Gr. 1000.

Fig. 137. — Section transversale d'un groupe de canalicules osseux. Dans quelques canalicules on voit des cellules du *Micrococcus lepidophagus*. Gr. 1000.

m. Un microcoque. — *c*. Tube d'un canalicule osseux. — *p*. Sa paroi propre.

Fig. 138 et 139. — *Bacille du mucus intestinal*

Fig. 138. — Un groupe d'éléments bacillaires rencontrés dans le mucus qui unit les bols alimentaires d'un coprolithe de reptile ichthyophage. Gr. 1000.

Fig. 139. — Une cellule du même bacille et sa section transversale. La paroi ne peut être délimitée du protoplasme. Les deux bouts sont colorés en brun foncé. Ils se détachent très bien sur le fond du mucus qui est jaune clair. En cet état [illegible] bacilles colorés à la vésuvine. Gr. 1000.

Fig. 140. — *Tenuicutites chytridiæformis* C. E. B.

Fig. 140 A. — *Tenuicutites* vu de profil de manière à montrer son point d'attache sur une intine. Gr. 600.

p. La paroi très mince. — *pr*. Protoplasma finement granuleux à grandes vacuoles.

n. Gros noyau unique limité par une fine membrane. Il est plus fortement coloré que le protoplasme.

Fig. 140 B. — *Tenuicutites* vu par le sommet.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

INTRODUCTION 1

§ I. — Résultats acquis par mes travaux antérieurs sur les charbons d'algues 1
§ II. — Les charbons que je me propose de faire connaître dans ce nouveau travail 6
§ III. — Mode d'exposition. — Bibliographie 9

HAPITRE I. — Le Brown Oilshale de la région de Broxburn . . . 13

§ I. — Ce qu'est le Brown Oilshale. — Origine des échantillons étudiés. — Régions où on rencontre le Brown Oilshale. — Sa composition chimique. 14
§ II. — Caractères macroscopiques du Brown Oilshale d'après la roche en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence à un faible grossissement. . 15
§ III. — Description de la gelée fondamentale 21
Ce qu'est cette gelée. 21
Caractères spéciaux de ses parties les plus fortement humifiées 26
Caractères spéciaux de ses parties les moins fortement humifiées 28
Contractions, déchirures et glissements de cette gelée . 30
Description de ses corps bactérioïdes. 32
§ IV. — Les corps accidentels du Brown Oilshale 34
Les diverses catégories de corps accidentels rencontrés dans le Brown Oilshale 34
Poussières végétales amenées par les pluies de soufre. 35
Menus débris humifiés. 39
Les fleurs d'eau ou algues flottantes 40
Les restes animaux. 40
§ V. — L'imprégnation bitumineuse. 41
§ VI. — Les matières minérales accidentelles du Brown Oilshale. 42
§ VII. — Conditions géogéniques de la formation du Brown Oilshale 43
§ VIII. — Caractéristiques du Brown Oilshale. 44

Pages

CHAPITRE II. — Le schiste du Bois d'Asson 49

§ I. — Ce qu'est le schiste du Bois d'Asson. — Origine des échantillons étudiés. — Régions où on rencontre ce schiste. — Sa composition chimique 50

§ II. — Caractères macroscopiques du schiste du Bois d'Asson d'après la roche en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence 53

§ III. — Description de la gelée fondamentale. 57

Aspect de la gelée fondamentale solidifiée et contractée. — Ses caractères particuliers. 57

La contraction de la gelée. — Ses déchirures horizontales. — L'exsudat des fissures horizontales. . . . 62

La rétention du bitume par la gelée fondamentale . . 66

La rétention de la matière minérale par la gelée fondamentale 67

§ IV. — Les corps accidentels dans le schiste du Bois d'Asson. 67

Les diverses catégories de corps accidentels rencontrés dans le schiste du Bois d'Asson 67

Les poussières végétales non humifiées. — Les grains de pollen. — Les spores de Champignons 69

Les menus débris humifiés 72

Les Diatomées. 73

Les spicules de Spongiaires 76

Les lames chitineuses 79

Les fragments résineux 80

Les fleurs d'eau 80

§ V. — L'intervention bitumineuse 82

Intensité de l'intervention bitumineuse 82

Époque de la pénétration du bitume 83

Divers états sous lesquels le bitume se manifeste . . 84

Discussion des diverses attributions qui pourraient être proposées pour les masses rouge-brun 88

§ VI. — Les matières minérales accidentelles et tardives dans le schiste du Bois d'Asson 89

§ VII. — Conditions géogéniques de la formation du schiste du Bois d'Asson 90

§ VIII. — Caractéristiques du schiste du Bois d'Asson 92

CHAPITRE III. — Le schiste bitumineux ou charbon humique de Ceara. 97

§ I. — Ce qu'est le charbon humique de Ceara. — Origine de l'échantillon étudié. — Sa composition chimique . 98

§ II. — Caractères macroscopiques du charbon de Ceara d'après de petits fragments de la roche et d'après des coupes minces vues par transparence 100

Pages

§ III. — Description de la gelée fondamentale 106
Aspect de la gelée fondamentale contractée et solidifiée. 106
La contraction de la gelée. — Les coupures. — L'écrasement des coquilles. — Les fentes à bitume — Les fissures tardives de la masse solidifiée. 109
La rétention du bitume par la gelée fondamentale. . 111
La rétention de la matière minérale par la gelée fondamentale 112

§ IV. — Les corps accidentels du charbon de Ceara 113
Les diverses catégories de corps accidentels rencontrés dans le charbon de Ceara. 113
Les grains de pollen 114
Les spores 115
Les fleurs d'eau 116
Les menus débris humifiés 117
Les restes de Mucédinées 118
Les coquilles d'Ostracodes 119

§ V. — L'imprégnation bitumineuse. 121

§ VI. — Les matières minérales tardives 122

§ VII — Les conditions géogéniques de la formation du charbon de Ceara 124

§ VIII. — Caractéristiques du schiste bitumineux ou charbon humique de Ceara 125

Chapitre IV. — Le schiste bitumineux de l'Allier 131

§ I. — Ce qu'est le schiste bitumineux de l'Allier. Il représente un nouveau type de charbons, les charbons de purins. — Origine des échantillons étudiés. — La composition chimique du schiste dans le banc des Têtes-de-Chats 132

§ II. — Caractères macroscopiques du schiste des Têtes-de-Chats d'après la roche vue en morceaux et d'après les coupes minces vues par transparence 136

§ III. — Description de la gelée fondamentale 139
La gelée fondamentale non contractée ou très faiblement contractée d'après l'aspect qu'elle présente dans les parties silicifiées 139
La gelée fondamentale d'après ses parties contractées et solidifiées 143
La contraction de la gelée fondamentale 148
La rétention du bitume par la gelée fondamentale . 149
La rétention de la matière minérale par la gelée fondamentale 149

Pages

§ IV. — Les corps accidentels du schiste des Têtes-de-Chats . 151
Les diverses catégories de corps accidentels qui se rencontrent dans le schiste des Têtes-de-Chats . . 151
Les grains de pollen 152
Les spores 155
Les fleurs d'eau 155
Les thalles de Zoogleites elaverensis 156
Les menus débris humifiés 158
Les coprolithes 158
Les os et les écailles isolées. 161
Les lamelles micacées 163

§ V. — L'intervention bitumineuse 163

§ VI. — Les matières minérales tardives 164

§ VII. — Les conditions géogéniques de la formation des schistes bitumineux de l'Allier 165

§ VIII. — Caractéristique du schiste bitumineux de l'Allier . . 167

Chapitre V. — Conclusions générales. 171

Chapitre VI. — Notes complémentaires 179

§ I. — Description de l'*Epipolaïa Boweri* C. E. B. 179

§ II. — Description du *Botryococcites Largæ* C. E. B. . . 182

§ III. — Description du *Zoogleites elaverensis* C. E. B. . . 184

§ IV. — Le Bacille du mucus intestinal. — Le *Micrococcus lepidophagus* B. R. 186

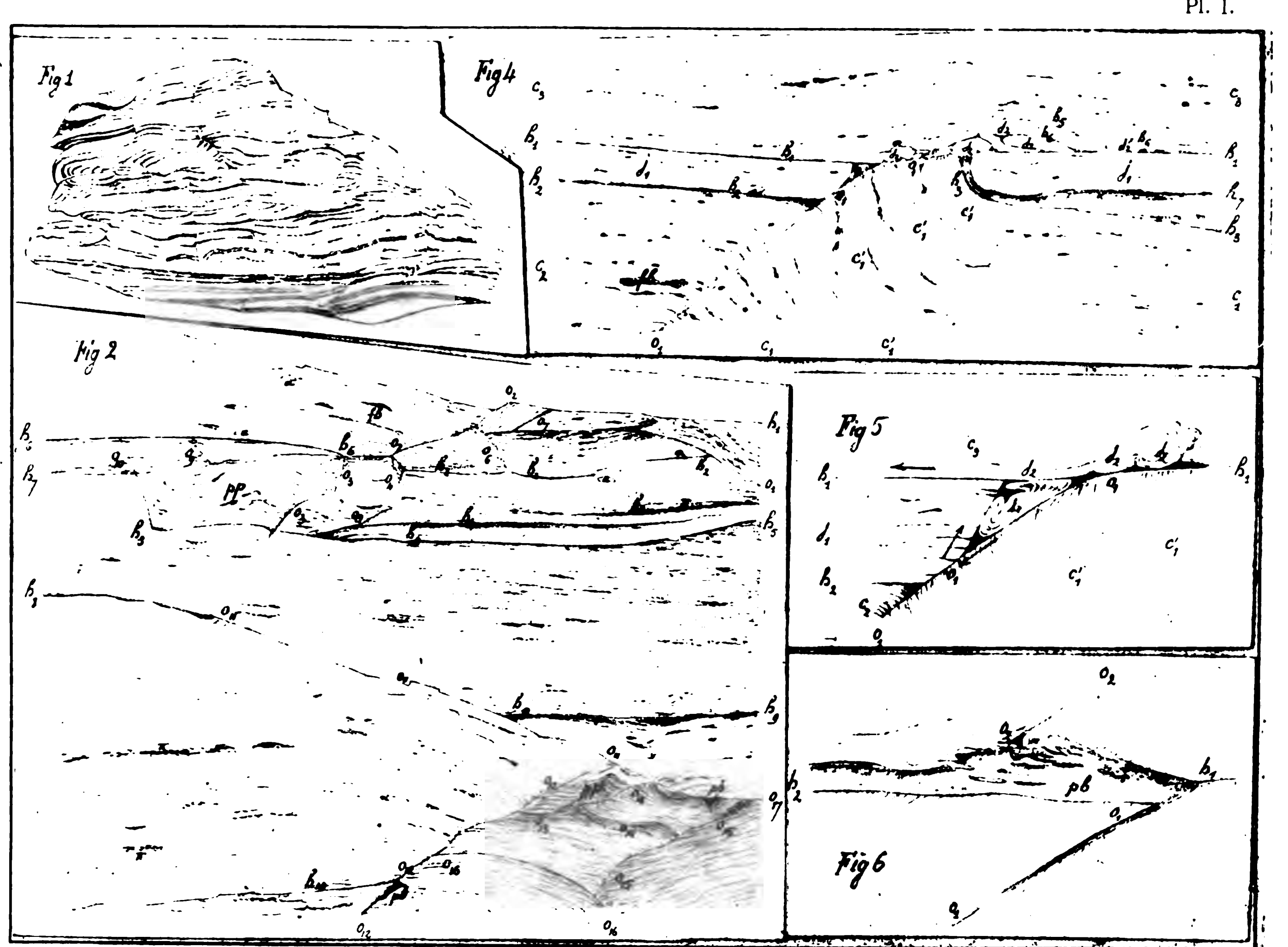
§ V. — Le *Tenuicutites chytridiæformis* C. E. B. 188

§ IV. — Note sur les corps bactérioïdes de la gelée fondamentale 190

Explication des Planches 197

Table des Matières 215

LILLE. — IMP. LE BIGOT FRÈRES.



C. E. B. del.

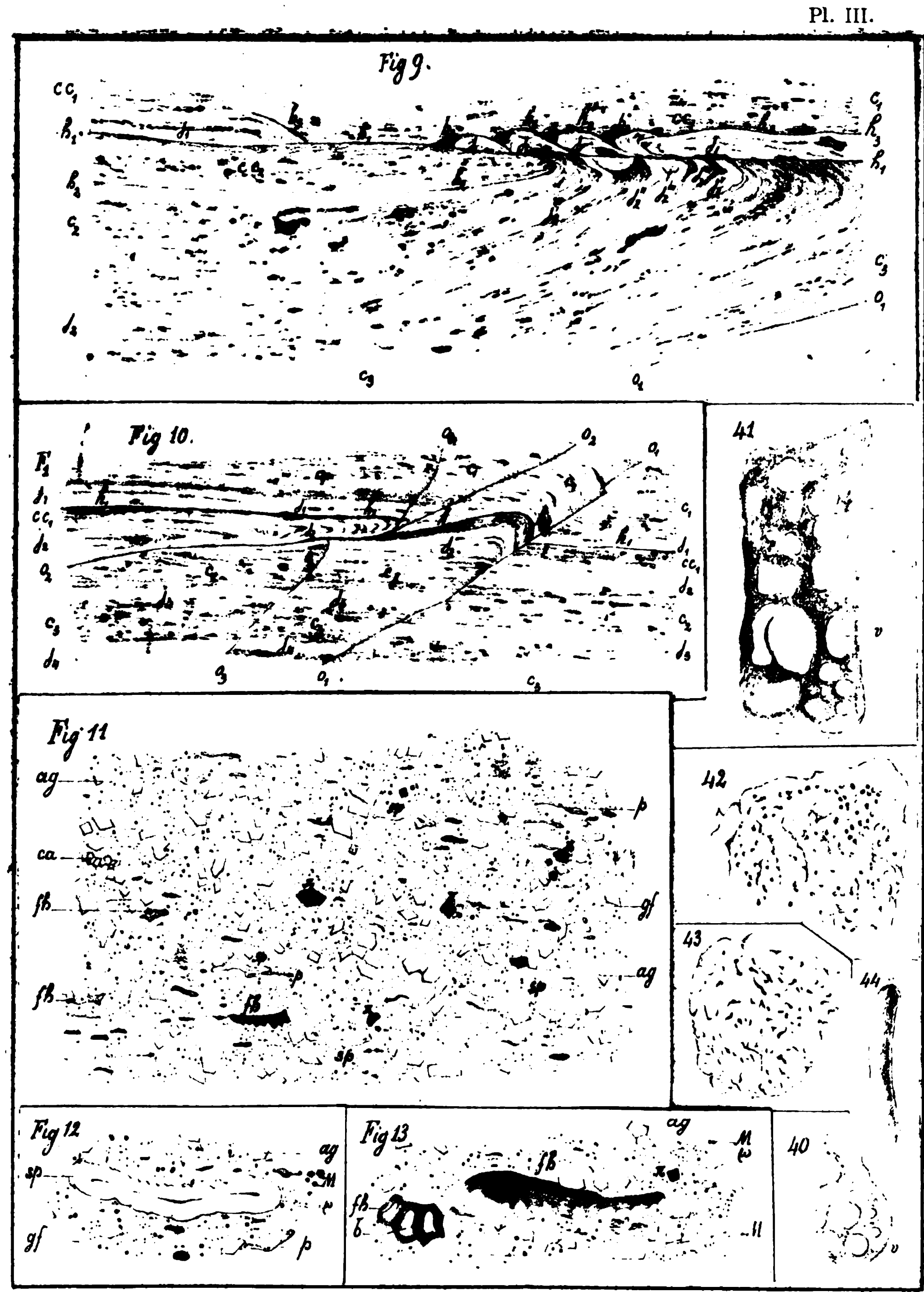
Phototypie L. DANEL.

BROWN OILSHALE DE LA RÉGION DE BROXBURN.

SECTION VERTICALE D'ENSEMBLE. — SECTIONS VERTICALES GROSSIES. — POCHES A BITUME.

C. E. B. del. Phototypie L. DANEL.

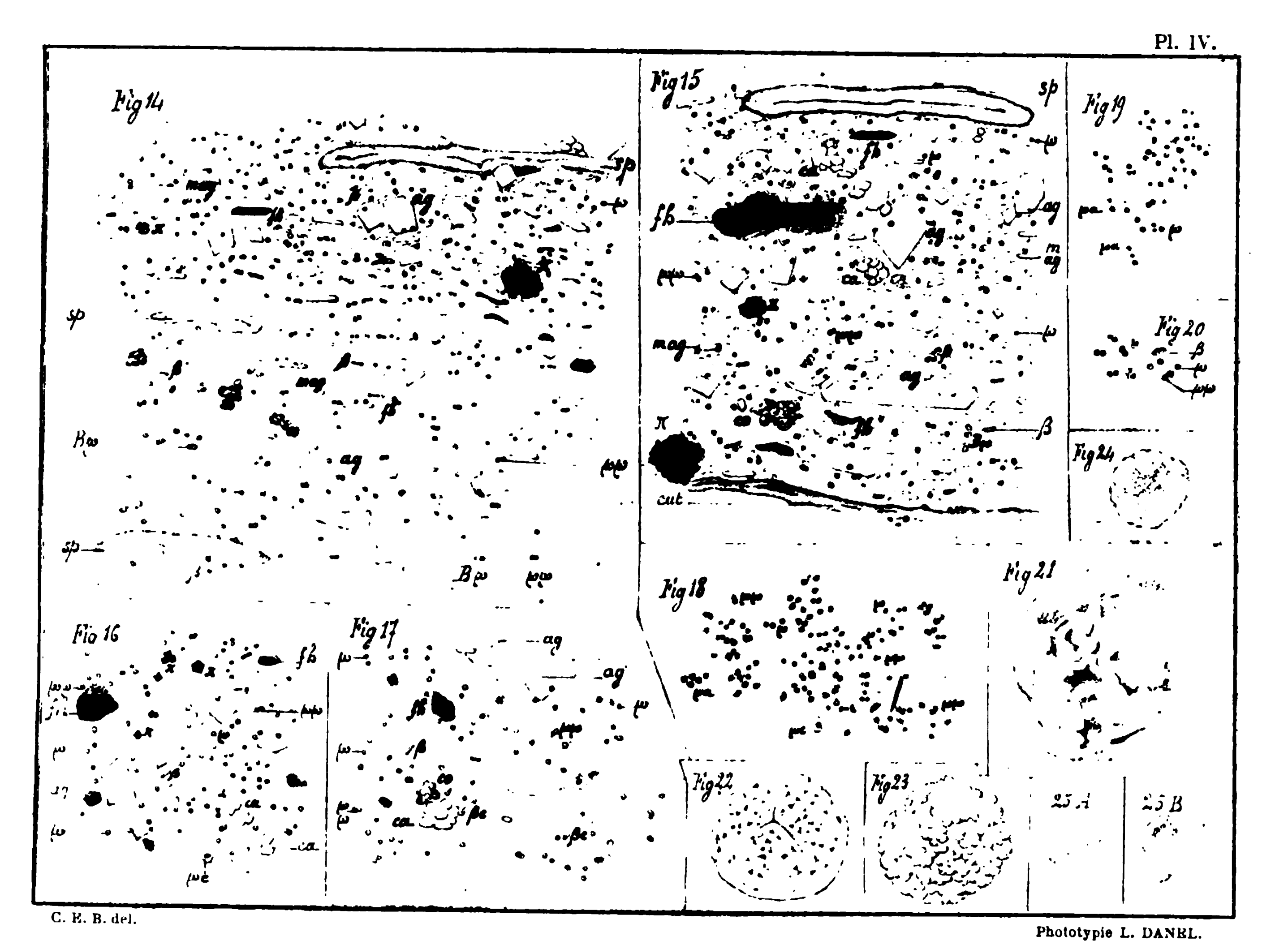
SECTIONS HORIZONTALES ET SPORES DU BROWN OILSHALE DE LA RÉGION DE BROXBURN.
ORGANITES DU SCHISTE BITUMINEUX DU BOIS D'ASSON.



C. E. B. del.

Phototypie L. DANEL.

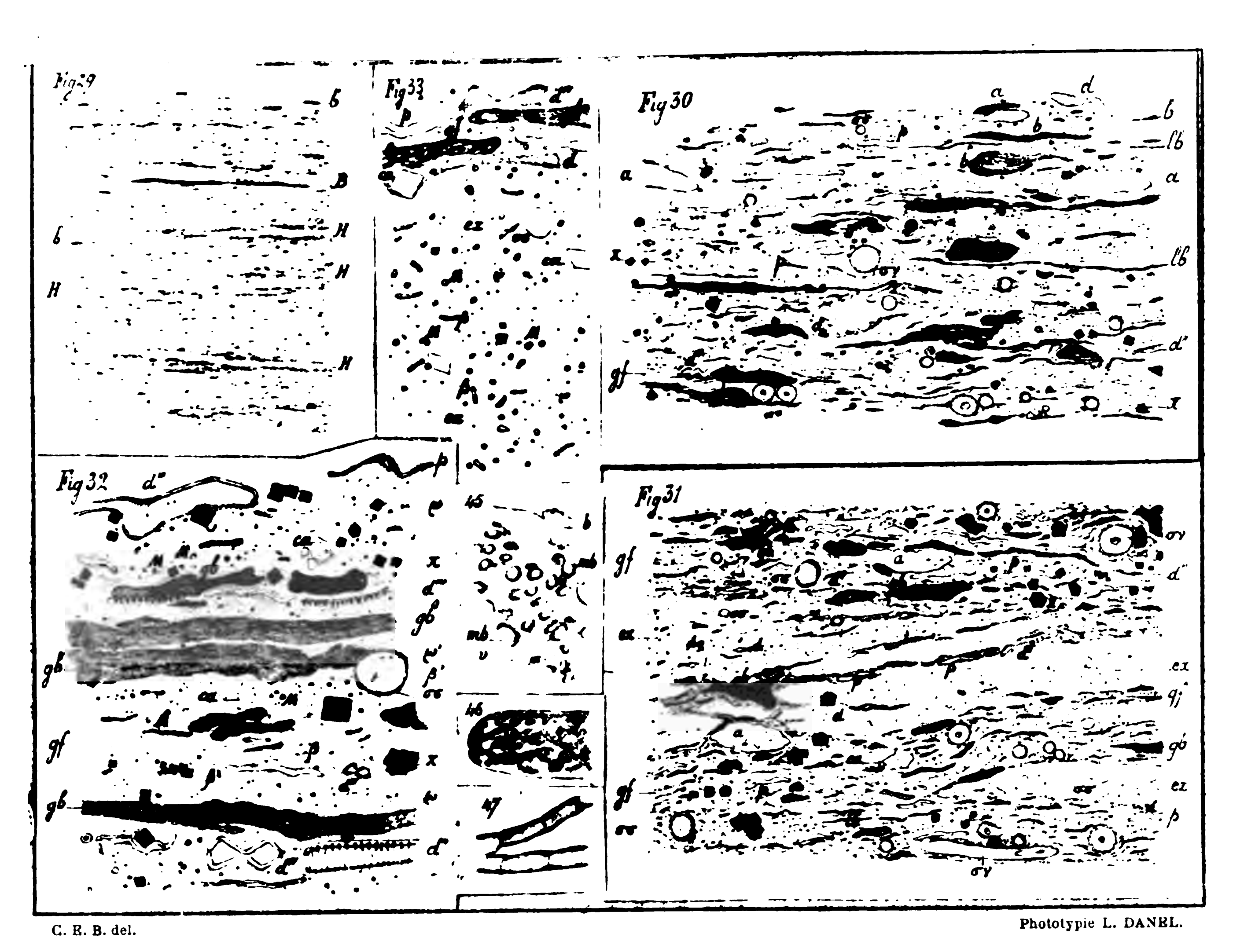
BROWN OILSHALE DE LA RÉGION DE BROXBURN ET GOUTTES BITUMINEUSES DU SCHISTE DU BOIS D'ASSON.



C. E. B. del.

Phototypie L. DANEL.

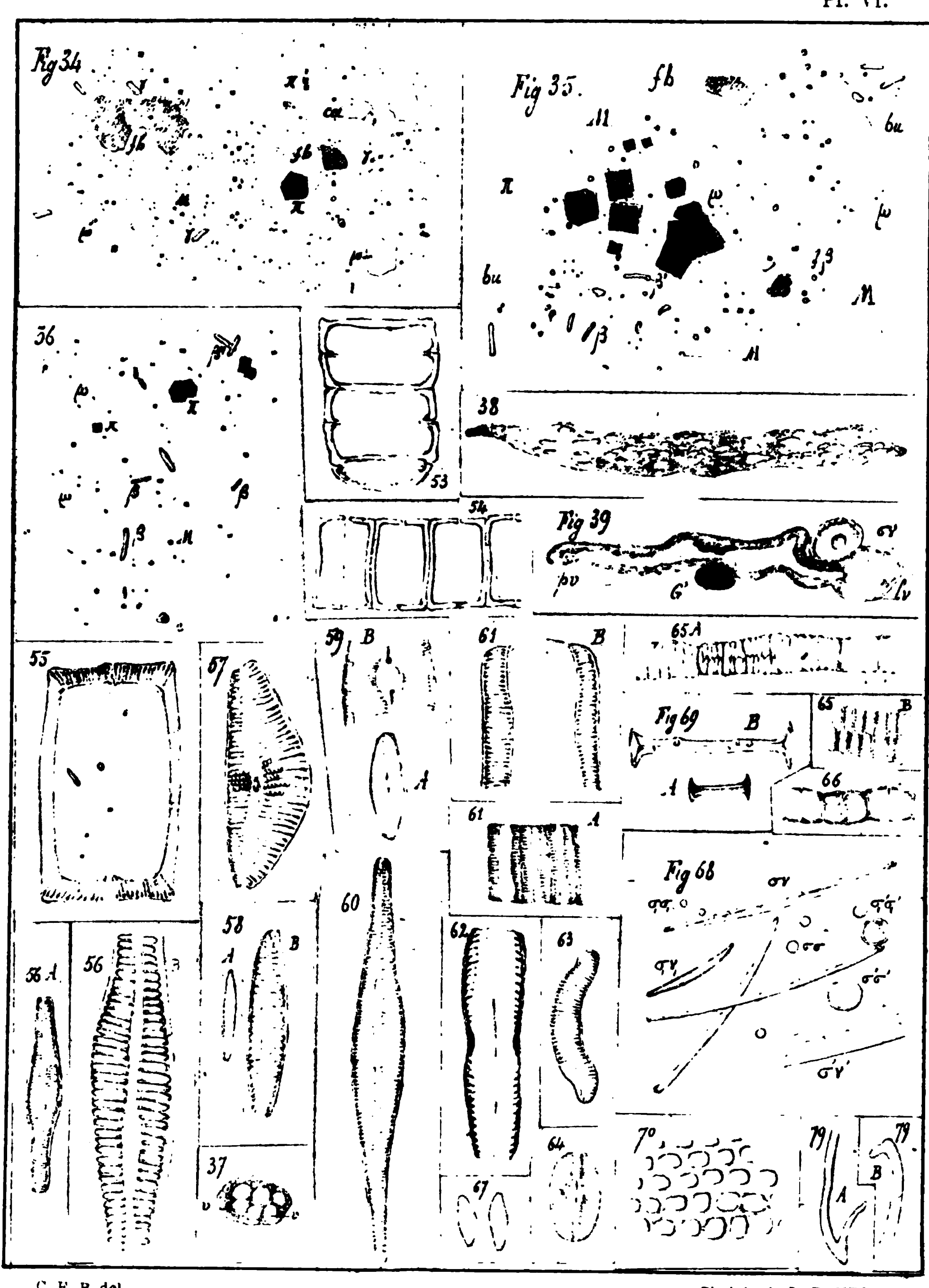
BROWN OILSHALE DE LA RÉGION DE BROXBURN. — GELÉE FONDAMENTALE, CORPS BACTÉRIOÏDES.



C. B. B. del.

Phototypie L. DANEL.

SCHISTE BITUMINEUX DU BOIS D'ASSON.



C. E. B. del.

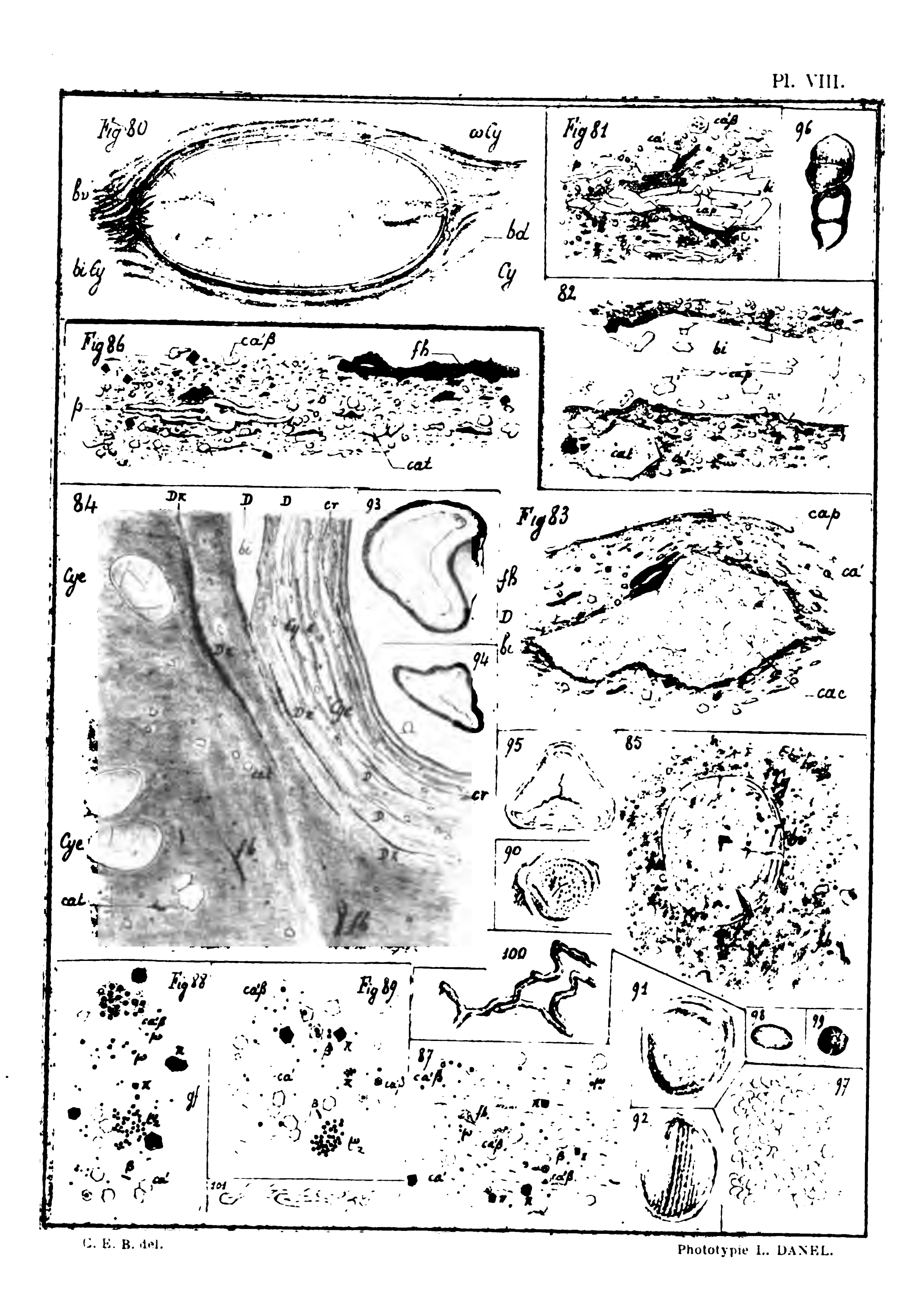
Phototypie L. DANEL.

GELÉE FONDAMENTALE, GOUTTES DE BITUME ET ORGANITES
DU SCHISTE DU BOIS D'ASSON.

C. E. B. del.

Phototypie L. DANEL.

CHARBON HUMIQUE DE CEARA.



C. E. B. del.

Phototypie L. DANEL.

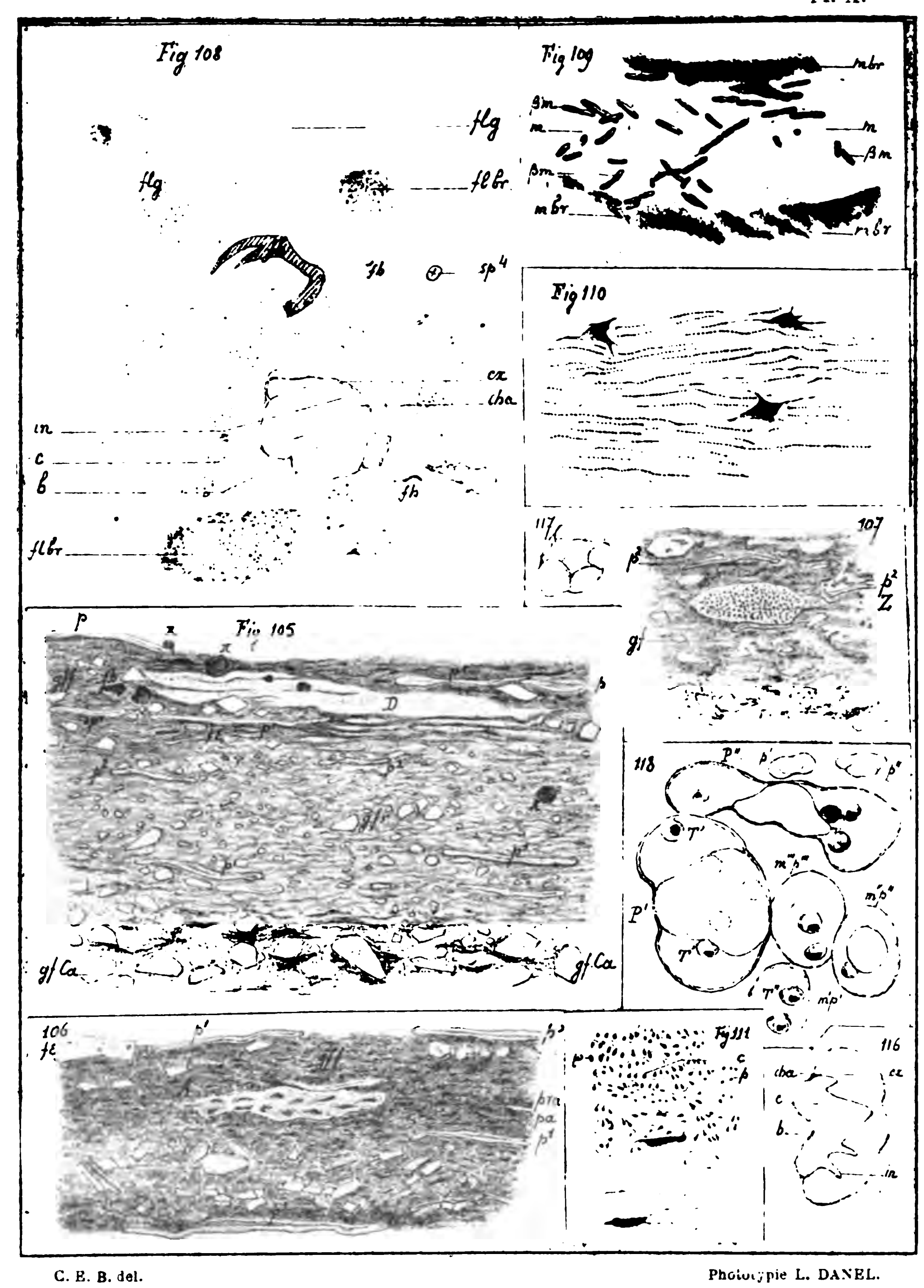
SCHISTE BITUMINEUX OU CHARBON HUMIQUE DE CEARA.



C. E. B. del.

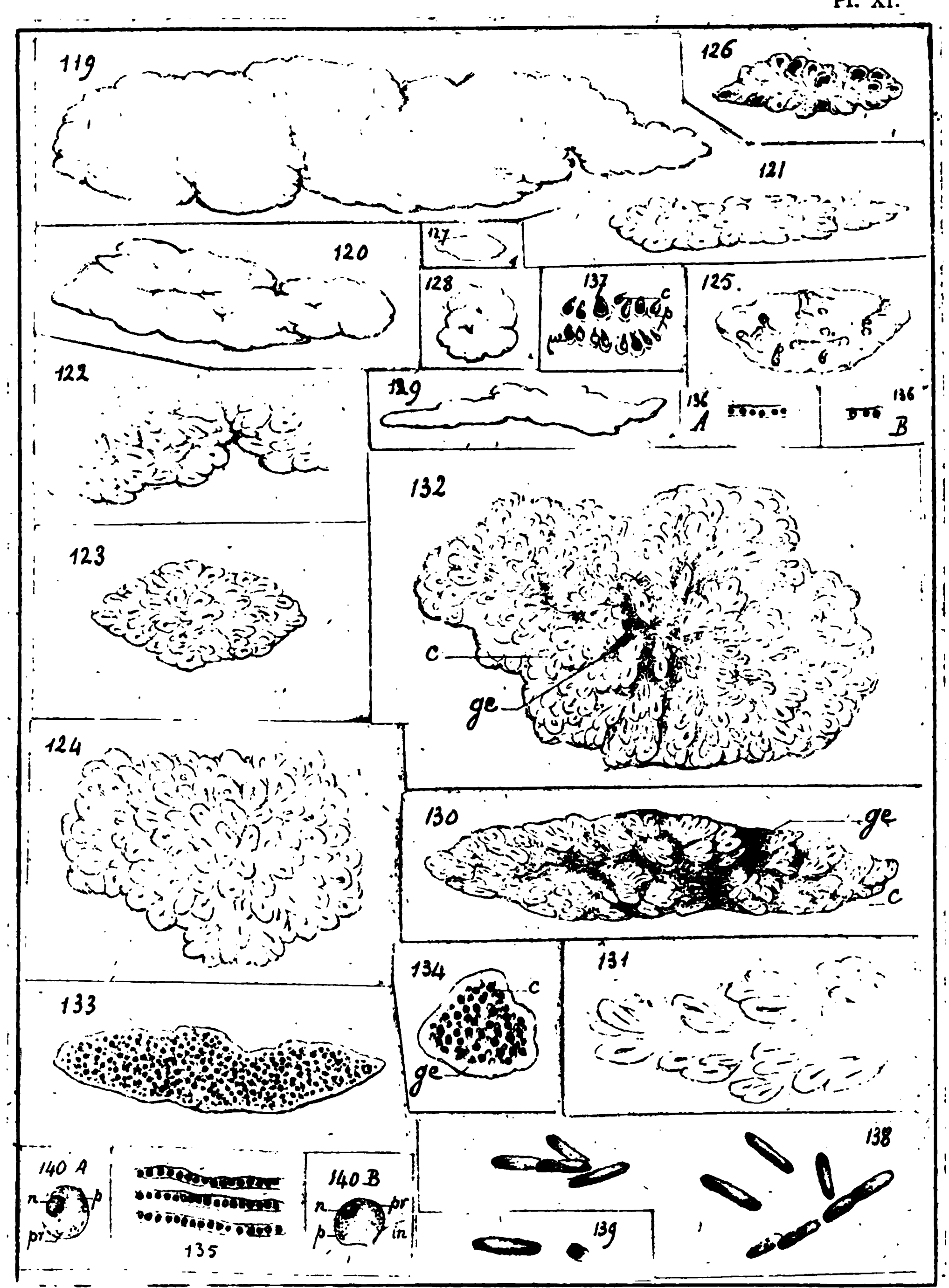
Phototypie L. DANEL.

SCHISTE BITUMINEUX DE L'ALLIER.



C. E. B. del. Phototypie L. DANEL.

SCHISTE BITUMINEUX DE L'ALLIER.



C. E. B. del.

Phototypie L. DANEL.

EPIPOLAÏA BOWERI, BOTRYOCOCCITES LARGÆ.
L'ALGUE DE CEARA, ZOOGLEITES ELAVERENSIS. — BACTÉRIES DE BUXIÈRE.
TENUICUTITES CHYTRIDIÆFORMIS.

TRAVAUX ET MÉMOIRES DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE

Tome I

N° 1. — P. Painlevé : *Transformations des fonctions* V (x, y, z) qui *satisfont à l'équation* $\Delta V = 0$. 1 fr. 75

N° 2. — P. Duhem : *Des corps diamagnétiques*. 3 fr. 50

N° 3. — P. Fabre : Le Polyptyque du chanoine Benoit — *Étude sur un Manuscrit de la Bibliothèque de Cambrai* — avec une reproduction en phototypie sur papier de Hollande. 3 fr. 50

N° 4. — A. et P. Buisine : *La Cire des Abeilles* (Analyse et falsifications). 4 fr.

N° 5. — P. Duhem : *Sur la continuité de l'état liquide et de l'état gazeux* (avec figures). 3 fr. 50

Tome II

N° 6. — C. Eg. Bertrand : *Remarques sur le Lépidodendron Hartcourtii de Witham* (avec 10 planches). 10 fr.

N° 7. — E. Bartin : *Études sur le régime dotal*. 3 fr.

N° 8. — P. Duhem : *Sur la dissociation dans les systèmes qui renferment un mélange de gaz parfaits*. 6 fr.

N° 9. — P. Hallez : *Morphogénie générale et affinités des Turbellariés*. 2 fr.

Tome III

N° 10. — M. Dufour : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (1re Série). 4 fr.

N° 11. — P. Duhem : *Dissolutions et mélanges*. 1er Mémoire : *Équilibre et mouvement des fluides mélangés*. 4 fr. 50

N° 12. — P. Duhem : *Dissolutions et mélanges*. 2e Mémoire : *Propriétés physiques des dissolutions*. 4 fr. 50

N° 13. — P. Duhem : *Dissolutions et mélanges*. 3e Mémoire : *Les mélanges doubles*. 4 fr. 50

N° 14. — M. Dufour : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (2e Série). 2 fr. 50

Tome IV

N° 15. — A. Pinloche : *Principales œuvres pédagogiques de* Herbart. *Pédagogie générale — Esquisse de leçons pédagogiques — (aphorismes et extraits divers)*. 7 fr. 50

N° 16. — B. Brunhes : *Sur le principe de Huygens et sur quelques conséquences du théorème de Kirchhoff*. 3 fr. 50

N° 17. — M. Dufour : *Étude sur la constitution rythmique et métrique du drame grec* (3e Série). 2 fr. 50

Tome V

N° 18. — A. Penjon : *Pensée et réalité d'A. Spir*, traduit sur la 3e édition. 10 fr.

Tome VI

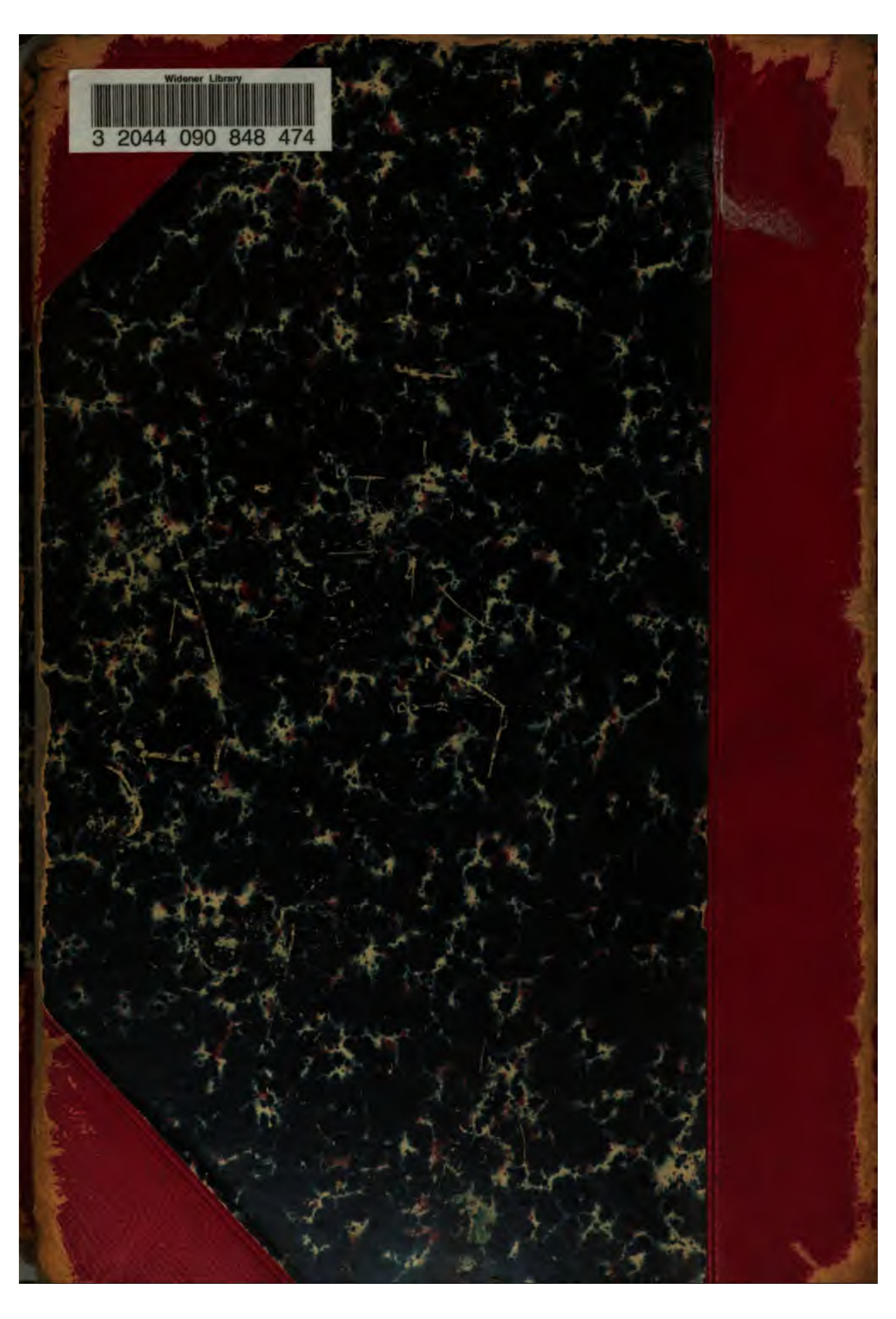
N° 19. — R. Swyngedauw : *Étude expérimentale et théorique de la décharge dérivée d'un condensateur*. 2 fr.

N° 20. — G. Lefèvre : *Les variations de Guillaume de Champeaux et la question des Universaux*. 3 fr.

N° 21. — C. Eg. Bertrand : *Les Charbons humiques et les Charbons de purins*. 15 fr.

Atlas N° 1. — F. Tourneux : *Album d'embryologie. Développement des organes génito-urinaires chez l'homme*. 40 fr.

Atlas N° 2. — J. Flammermont : *Album paléographique du Nord de la France*. 20 fr.



Widener Library
3 2044 090 848 474